



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

ULB

Auswirkungen von naturalistischen fahrfremden Tätigkeiten während hochautomatisierter Fahrt

Müller, Andreas Lars
(2020)

DOI (TUprints): <https://doi.org/10.25534/tuprints-00011342>

Lizenz:



CC-BY-SA 4.0 International - Creative Commons, Attribution Share-alike

Publikationstyp: Ph.D. Thesis

Fachbereich: 16 Department of Mechanical Engineering

Quelle des Originals: <https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/11342>

Auswirkungen von naturalistischen fahrfremden Tätigkeiten während hochautomatisierter Fahrt

Am Fachbereich Maschinenbau
an der Technischen Universität Darmstadt
zur
Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte

DISSERTATION

vorgelegt von

M.Sc. Andreas Lars Müller

aus Darmstadt

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Ralph Bruder
Mitberichterstatter: Prof. Dr. phil. Klaus Bengler

Tag der Einreichung: 11. März 2020
Tag der mündlichen Prüfung: 23. Juni 2020

Darmstadt 2020

D17

Müller, Andreas Lars:

Auswirkungen von naturalistischen fahrfremden Tätigkeiten während hochautomatisierter Fahrt
Darmstadt, Technische Universität Darmstadt,

Jahr der Veröffentlichung der Dissertation auf TUpriints: 2020

URN: [urn:nbn:de:tuda-tuprints-113427](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:tuda-tuprints-113427)

Tag der mündlichen Prüfung: 23.06.2020

Veröffentlicht unter CC BY-SA 4.0 International

<https://creativecommons.org/licenses/>

Danksagung

Besonderer Dank gebührt Herrn *Prof. Dr.-Ing. Ralph Bruder* für seine Unterstützung sowie für die vielen wertvollen wissenschaftlichen Anregungen und spannenden Diskussionen. Durch die Möglichkeit, an Ihrem Institut zu promovieren, haben Sie den Grundstein für diese Arbeit gelegt. Zudem haben Sie mich über die komplette Promotionsphase immer wieder fachlich unterstützt und zeitgleich große Denkfüräume bei der Realisierung meines Forschungsvorhabens gewährt.

Vielen Dank an *Prof. Dr. phil. Klaus Bengler* für die Übernahme des Korreferats sowie für die gute Zusammenarbeit und die fachlichen Diskussionen bei Ihnen am Lehrstuhl für Ergonomie an der TU München. Mein herzlicher Dank geht an die stellvertretende Institutsleitung, Forschungsgruppenleitung und vor allem Bürokollegin *Bettina Abendroth*. Du hast mich immer wieder ermutigt, bei allen Themengebieten noch einmal um die Ecke zu denken. Danke für dein Vertrauen, deine Ratschläge und deinen hohen Einsatz für mich und für das gesamte Team.

Danke an meinen Mentor und glorreichen Sieger der ersten Arcade-Game-Veranstaltung *Ingmar Langer* für die Einarbeitungsphase am IAD. Danke an *Benjamin Franz* für den Aufbau und die Tipps rund um den Fahrsimulator. Ich danke *Lukas Robert Bier* für den Austausch auf fachlicher und privater Ebene. Deine fundierten Ratschläge haben mich stets motiviert und angespornt, zielgerichtet nach mehr zu streben. Mein Dank geht an den institutseigenen Trainer *Philip Joisten*, durch dich und mit dir habe ich meine ersten Triathlons absolviert. Du hast mir viele Institutsaufgaben während meiner Schreibphase abgenommen und mir gelehrt, dass *mehr einfach besser* ist. Danke an *Pia Niessen* für den intensiven Austausch auf fachlicher und privater Ebene. Danke an *Jonas Walter* für die zahlreichen Denkanstöße zum wissenschaftlichen Arbeiten. Danke an den Doktorandensprecher *Christopher Stockinger* für den Ruhepol am IAD und die Organisation zahlreicher Doktorandentreffen. Danke auch an alle weiteren Kollegen und Kolleginnen am Institut für Arbeitswissenschaft, die mich seit Ende 2015 während meines Promotionsvorhabens unterstützt und vorangetrieben haben.

Danken möchte ich darüber hinaus den zahlreichen Studenten, die als wissenschaftliche Hilfskräfte oder durch studentische Arbeiten mit ihrem hohen Einsatz zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben. Mein Dank für die Unterstützung bei der Versuchsdurchführung geht an: *Nafis Abedin, Natacha Estrela Fernandes, Florian Landenberger, Ugur-Deniz Gündüzkanat, Sven Hanselka, Ruben Hetfleisch und Lukas Zecha*.

Besonders möchte ich mich bei meiner Familie bedanken. Meinen Eltern *Melita* und *Dietmar*, welche mich immer unterstützt und gefördert haben, die mir Zielstrebigkeit, Durchhaltevermögen und Disziplin gelehrt haben. Ich danke meiner Schwester *Caro* dafür, dass ich mich stets auf dich verlassen kann und dafür, dass du meinen schriftlichen Ergüssen den notwendigen Grob- und Feinschliff verliehen hast sowie dafür, dass du so nett, lustig und empathisch bist. Zuletzt danke ich dir *Katrin* für deine Unterstützung, Zuversicht und Liebe, die du mir unentwegt schenkst. Ohne dich wäre diese Arbeit nicht entstanden.

Zusammenfassung

Dem automatisierten Fahren wird künftig eine hohe Bedeutung zukommen. Nicht nur die Sicherheit und Effizienz des Straßenverkehrs sollen erhöht, sondern auch Emissionen reduziert und die Mobilität verbessert werden. Während bei der teilautomatisierten Fahrt der Fahrzeugnutzende stets das Verkehrsgeschehen überwachen muss, vollzieht sich ab dem hochautomatisierten Fahren (Level 3 nach SAE (2018)) ein Paradigmenwechsel. Ab dieser Automatisierungsstufe wird der Fahrzeugnutzende von der Pflicht der dauerhaften Fahrzeugführung und Umgebungsüberwachung entbunden und kann sich in seiner neu gewonnenen Freizeit mit fahrfremden Tätigkeiten (FFT) beschäftigen. Diese Tätigkeiten dürfen so lange ausgeführt werden, bis ein Signal den Nutzer darauf hinweist die Fahrzeugkontrolle wieder aufzunehmen. Da der Fahrzeugführer dennoch als Rückfallebene gilt, wird dieser Aspekt der Kontrollübernahme als besonders kritisch angesehen. Während bisherige Forschungsvorhaben die Einflussfaktoren auf die Rückübernahmeaufforderung im Fokus ihrer Studie untersuchten, liegt das Hauptaugenmerk dieser Arbeit auf den Auswirkungen der FFT auf den Fahrzeugnutzenden während der hochautomatisierten Fahrt. Dafür wird zunächst ein Literaturüberblick über den aktuellen Stand der Forschung gegeben und darauf aufbauend Forschungslücken identifiziert. Basierend auf einer Online-Umfrage (N = 164) und einer Cover-Story-Fahrsimulatorstudie (N = 30) werden aus Nutzersicht relevante fahrfremde Tätigkeiten („Text lesen“, „Hörbuch hören“, „Video schauen“, „Texting“ und „Fahrt beobachten“) bestimmt. Mittels eines Untersuchungsmodells auf Basis des Belastungs-Beanspruchungs-Konzepts nach Luczak (1975, modifiziert von Rohmert 1984) werden die aus der systematischen Literaturrecherche geschlussfolgerten Forschungsfragen mit Hilfe von Leithypothesen visualisiert. Anhand der Hauptstudie (N = 56) werden die FFT in einem statischen Fahrsimulator des Instituts für Arbeitswissenschaft (Technische Universität Darmstadt) auf die mentale Beanspruchung, das Situationsbewusstsein und die Rückübernahmefähigkeit in einer kritischen Situation überprüft. Die vorliegende Arbeit untersucht mittels triangulärem Ansatz aus dem subjektiven Empfinden, der psychophysiologischen Aktivität sowie leistungsbasierten Kennwerten einer konkurrierenden Sekundäraufgabe in Form eines Reiz-Reaktionszeittests die Auswirkungen visueller, auditiver, taktiler und kognitiver Belastungen durch naturalistische FFT. Hierbei zeigt sich, dass sich die ausgewählten FFT in ihrer mentalen Beanspruchung signifikant unterscheiden. Das Situationsbewusstsein wird in drei zeitlichen Varianten erforscht. Neben dem vorhandenen Situationsbewusstsein bei Ausführung einer FFT wird auch der Aufbauprozess des Situationsbewusstseins im Detail analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die zeitliche Rückübernahmefähigkeit ebenfalls signifikant in Abhängigkeit von der ausgeführten FFT unterscheidet. Folglich wirkt sich sowohl die untersuchte Variable der mentalen Beanspruchung als auch die des vorhandenen Situationsbewusstseins signifikant auf die Rückübernahmezeit aus. Schlussendlich liefert diese Arbeit neben der Beantwortung der Forschungsfragen auch Gestaltungsempfehlungen für zukünftige hochautomatisierte Fahrzeugkonzepte.

Abstract

Automated driving will be of high value in the future. The aim is to improve not only the safety and efficiency of road traffic, but also to reduce emissions and improve mobility. While in partial-automated driving the driver must always monitor the traffic situation, a paradigm shift is taking place in the case of conditional automated driving (level 3 according to SAE (2018)). From this level of automation onwards, the vehicle user is released from the duty of permanent vehicle control and environmental observation and can engage in Non-Driving Related Tasks (NDRT) in his or her newly gained spare time. These tasks may be performed until a take-over request informs the user to resume vehicle control. As the driver is still considered to be a fall-back level, this aspect of taking control is considered especially critical. While previous research projects have focused their study on the factors influencing the take-over request, the main focus of this thesis is on the effects of the NDRT on the user of the vehicle during conditional automated driving.

In this work, a literature review of the current state of research is given and research shortcomings are identified subsequently. Based on an online survey (N = 164) and a cover-story driving simulator study (N = 30) relevant NDRT (such as "reading a text", "listening to an audio book", "watching a video", "texting" and "monitor driving") are determined from the user's point of view. By using a research model based on the stress-strain concept according to Luczak (1975, modified by Rohmert 1984), the research questions derived from the systematic literature research are visualized based on lead hypotheses. The main study (N = 56) tested the NDRT for mental strain, situation awareness and the ability to take over in a critical situation in a static driving simulator of the Institute of Ergonomics & Human Factors (Technical University of Darmstadt). The present study examines the effects of visual, auditory, tactile and cognitive strain by naturalistic NDRT using a triangular approach consisting of subjective perceived workload, psychophysiological activity as well as performance-based parameters of a secondary competing task performed by a detection-response task. This revealed that the chosen NDRT vary significantly in their mental strain. The situation awareness was investigated in three-time variations. In addition to the current situation awareness during the carrying out of a NDRT, the build-up process of the situation awareness was also analyzed in detail. The results show that the ability to take-over control also differed significantly depending on the NDRT carried out. Thus the investigated variables of mental strain and situation awareness have a significant effect on the time needed to regain control over the vehicle. In the end, this thesis provides not only answers to the research questions but also design implications for future conditional automated vehicle concepts.

Abkürzungsverzeichnis

In der vorliegenden Arbeit wird nur aus Gründen der besseren Lesbarkeit ausschließlich auf das generische Maskulinum von Probandinnen und Probanden und Fahrerinnen und Fahrern abgekürzt. Die Betrachtungen umfassen selbstverständlich alle Geschlechter in gleichem Maße. Bei Abkürzungen werden die Deklinationsendungen nicht in das Schriftbild aufgenommen.

AOI	Area of Interest
BB	Belastungs-/Beanspruchung
BBK	Belastungs-/Beanspruchungskonzept
bpm	beats per minute (deutsch: „Schläge pro Minute“)
dB(A)	Lautstärke gemessen in Dezibel und nach Methode A korrigiert
DRT	Detection Response Task
DPU	Data Processing Unit (Simulationssoftware SILAB)
EDA	Elektrodermale Aktivität
EKG	Elektrokardiogramm
FF	Forschungsfrage
FFT	Fahrfremde Tätigkeit
HLW	Hautleitwert
HMI	Human-Maschine-Interface (deutsch: „Mensch-Maschine-Schnittstelle“)
HR	Herzschlagrate/-frequenz (Kennwert meanRR)
HRV	Herzschlagvariabilität (Kennwert rMSSD)
LH	Leithypothese
MAX	Maximalwert
MW	Mittelwert
N / n	Gesamte Stichprobenanzahl / Teil der Stichprobe
NASA-TLX	National Aeronautics & Space Administration Task-Load-Index
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration
Perz.	Perzentil
RÜA	Rückübernahmeaufforderung (englisch: „Take-over Request“, TOR)
SA	Situation-Awareness (deutsch „Situationsbewusstsein“)
SAE	Society of Automotive Engineers (deutsch: „Verband der Automobilingenieure“)
SCL	Skin Conductance Level
SCR	Skin Conductance Response
SD	Standardabweichung
TOR	Take-over Request (auch Request to intervene, deutsch: „Rückübernahmeaufforderung“,)
TTC	Time-to-Collision

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Motivation.....	1
1.2	Zielsetzung.....	2
1.3	Aufbau der Arbeit.....	4
2	Stand der Forschung.....	5
2.1	Menschliche Informationsverarbeitung.....	5
2.1.1	Wahrnehmung.....	6
2.1.2	Sequentielle Modelle.....	6
2.1.3	Kapazitätsmodelle.....	7
2.2	Fahrzeugautomatisierung.....	11
2.2.1	Automatisierung der Fahrzeugführung.....	11
2.2.2	Rückübernahmefähigkeit bei automatisierter Fahrzeugführung.....	13
2.2.3	Reaktionsfähigkeit bei manueller Fahrt.....	15
2.3	Fahrfremde Tätigkeiten.....	16
2.3.1	Unaufmerksamkeit und Fahrerablenkung.....	17
2.3.2	Klassifizierung von FFT.....	18
2.3.3	Definition von FFT während hochautomatisierter Fahrt.....	19
2.3.4	Kenntnisstand zu FFT in der Literatur.....	20
2.4	Belastung und Beanspruchung.....	23
2.5	Situationsbewusstsein.....	25
2.6	Aktueller Forschungsstand zur Rückübernahmefähigkeit.....	29
2.7	Identifizierung der Forschungslücke und Ableiten der Forschungsfragen.....	34
3	Untersuchungsmodell und Leithypothesen.....	36
3.1	Untersuchungsmodell.....	36
3.2	Leithypothesen.....	37
3.3	Deskriptive Analyse und inferenzstatistische Tests.....	40
4	Empirische Studien zur Identifikation von fahrfremden Tätigkeiten.....	44
4.1	Onlineumfrage zur Identifikation relevanter FFT.....	44
4.1.1	Methodisches Vorgehen.....	44
4.1.2	Probandenkollektiv.....	45
4.1.3	Ergebnisse.....	45
4.2	Cover-Story Simulationsfahrt.....	48
4.2.1	Methodisches Vorgehen.....	49
4.2.2	Untersuchungsumgebung.....	49
4.2.3	Messmethoden.....	51
4.2.4	Ethische Genehmigung.....	52
4.2.5	Probandenkollektiv.....	52
4.2.6	Ergebnisse.....	53
4.3	Weiter zu untersuchende FFT.....	54
5	Empirische Studie zu den Auswirkungen von fahrfremden Tätigkeiten.....	57
5.1	Methodik.....	57
5.1.1	Kennwertdefinitionen und Aussagegehalt.....	57
5.1.2	Versuchsdesign und Versuchsdurchführung.....	70
5.1.3	Ethische Genehmigung.....	72
5.1.4	Probandenkollektiv.....	72

5.1.5	Untersuchungsumgebung	73
5.1.6	Messmethoden.....	76
5.1.7	Datenauswertung.....	83
5.1.8	Detaillierung der Untersuchungshypothesen	87
5.2	Ergebnisse	90
5.2.1	Mentale Beanspruchung beim Ausführen von FFT.....	90
5.2.2	Situationsbewusstsein beim Ausführen von FFT	101
5.2.3	Rückübernahmefähigkeit von automatisierter Fahrt zu manueller Fahrzeugführung	106
5.2.4	Übergeordnete Zusammenhänge.....	112
6	Diskussion	114
6.1	Diskussion zu Messmethodik und Messergebnissen	114
6.1.1	Identifikation relevanter FFT	114
6.1.2	Mentale Beanspruchung	116
6.1.3	Situationsbewusstsein.....	122
6.1.4	Rückübernahmefähigkeit	124
6.2	Allgemeine Diskussion zum Forschungsvorhaben.....	128
6.3	Beantwortung der Forschungsfragen.....	131
7	Fazit und Ausblick.....	134
7.1	Gestaltungsempfehlungen.....	134
7.2	Ausblick.....	135
	Abbildungsverzeichnis	137
	Tabellenverzeichnis	141
	Literaturverzeichnis.....	143
	Anhang	A-1

1 Einleitung

1.1 Motivation

Das Automobil prägte im vergangenen Jahrhundert das Mobilitätsbild. Dabei setzt sich der Begriff „Automobil“ aus dem griechischen Begriff *autòs* („selbst, persönlich“) und dem lateinischen Wort *mobilis* („beweglich“) zusammen. Der Bedarf am individuellen Personenverkehr ist in den letzten Jahrzehnten deutlich gestiegen, was nicht nur zu positiven, sondern auch zu negativen Begleiterscheinungen führt. Hierzu gehören unter anderem die Überlastung des Straßennetzes und der Verlust an Lebensqualität durch Lärm, Luftverschmutzung und Staus. Der Anstieg der Verkehrsdichte resultierte unter anderem in 2,6 Millionen Unfällen im Jahr 2018 auf deutschen Straßen. Dabei wurden ca. 400.000 Personen verletzt und es kam zu ca. 3.300 Verkehrstoten. Allerdings kann im Vergleich zu 1970 (21.332 Verkehrstote) ein Rückgang um 85 % verzeichnet werden, obwohl sich seither die Anzahl zugelassener Fahrzeuge und die zurückgelegte Fahrstrecke vervielfacht haben (Statistisches Bundesamt, 2019).

Dies ist auf diverse Maßnahmen, unter anderem die Einführung des Tempolimits von 100 km/h auf Landstraßen, die Anschnallpflicht sowie die 0,5-Promille-Grenze, zurückzuführen. Daneben konnte die Fahrzeugsicherheit durch den Einbau von Airbags und Fahrerassistenzsystemen, wie dem Antiblockiersystem und dem elektronischen Stabilitätsprogramm, deutlich erhöht werden, siehe Abbildung 1-1.

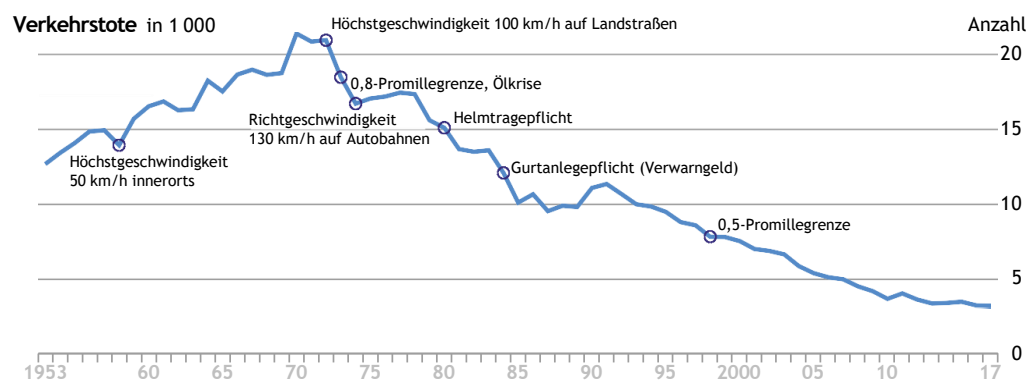


Abbildung 1-1: Langfristige Entwicklung der Verkehrstoten in Deutschland zwischen 1953 und 2017 Statistisches Bundesamt (2018)

Studien zufolge sind rund 86% aller Unfälle mit Personenschäden auf Fehlverhalten der Fahrzeugführer zurückzuführen (Lemmer, 2014). Nach Angaben von Bartels, To, Karrenberg und Weiser (2011) sind sogar 95% aller tödlichen Unfälle durch menschliches Versagen begründet.

Wie in Abbildung 1-1 zu erkennen ist, stagniert die Abnahme der Verkehrstoten in den letzten Jahren. Um dem entgegenzuwirken werden in das automatisierte Fahren deshalb große Erwartungen gesetzt. Obwohl sich autonome Fahrzeuge großer medialer Beachtung erfreuen, werden Begriffe wie „autonom“ und „automatisiert“ oftmals undifferenziert verwendet, was zu Fehlinterpretationen und Fehlentscheidungen führen kann (Kollosche & Schwedes, 2016). Der Sammelbegriff "autonome

Fahrzeuge" umfasst alle Aufgaben des Fahrens unter allen Straßen- und Verkehrsbedingungen bei denen der Mensch als Fahrgast mitfährt. Das "automatisierte Fahrzeug" dient als Übergangsstufe von der manuellen zur autonomen Fahrzeugsteuerung und erfordert nach wie vor die Anwesenheit eines menschlichen Fahrers, der das System überwacht, Systemgrenzen erkennt und bei Bedarf zur Übernahme bereitsteht (B. Wolfers, 2017).

Zur Reduzierung der Unfallanzahl können automatisierte Fahrsysteme eingesetzt werden, um den Fahrer in komplexen Fahrsituationen vor einer Überbelastung oder bei einer verringerten Aufmerksamkeit vor drohenden Unfällen zu schützen. In einer Mobilitätsstudie konnte Sommer (2013) neben einer Erhöhung der Sicherheit auch eine Reduzierung des fahrbedingten Stresses durch ein Automationssystem identifizieren. Die Delegation der Fahraufgabe kommt für viele Fahrer also auch mit einem Komfortgewinn einher (Carsten, Lai, Barnard, Jamson & Merat, 2012). Automatisierte Fahrzeuge können potenziell die Sicherheit verbessern, Staus und dadurch Emissionen verringern sowie die Unabhängigkeit und Mobilität der nicht fahrenden Bevölkerung positiv beeinflussen (Biever, Angell & Seaman, 2019). Dafür wurde unter anderem im Jahr 2016 das Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr (1968) dahingehend ergänzt, dass die alleinige Beherrschung der Fahrzeugführung nicht mehr ausschließlich beim Fahrer liegt, sondern dass die Fahrzeugkontrolle durch technische Systeme übernommen werden kann. Eine grundlegende Voraussetzung dafür ist die technische Gestaltung, da die automatisierte Fahrzeugführung durch den Fahrer übersteuerbar oder abschaltbar sein muss (Druckasche 18/8951 Deutscher Bundestag, 2016).

Im Falle der hochautomatisierten Fahrt kann der Fahrer die Kontrolle an das Fahrzeug abgeben und muss auch das Fahrgeschehen nicht mehr weiter überwachen. Dadurch ist es möglich sich mit fahrfremden Tätigkeiten (FFT) während der Fahrt zu beschäftigen. Die Fahrzeugnutzer müssen jedoch die Kontrolle wieder übernehmen können. Welche Auswirkungen diese FFT während der hochautomatisierten Fahrt auf den Fahrzeugnutzenden hervorrufen untersucht diese Arbeit. Im Rahmen des hochautomatisierten Fahrens übermittelt das Fahrzeug den notwendigen Kontrollwechsel von automatisierter zu manueller Fahrt anhand einer Rückübernahmeaufforderung (RÜA, englisch: Take-over Request (TOR)). Ersten Angaben zufolge werden hochautomatisierte Fahrzeuge, bei denen sich der Fahrer von der Verkehrsüberwachung zurückziehen kann, nach dem aktuellen Stand innerhalb der kommenden Jahren auf den Straßen erwartet (ERTRAC, 2019).

1.2 Zielsetzung

Ab hochautomatisierter Fahrt kann sich der Fahrzeugnutzende von der Fahrzeugführung sowie der Umgebungsüberwachung abwenden und sich mit weiteren Tätigkeiten während der Fahrt beschäftigen. In dieser Arbeit werden einerseits das Nutzungsbedürfnis von FFT während hochautomatisierter Fahrt sowie andererseits deren Auswirkungen auf den Fahrzeugnutzenden experimentell untersucht. Um eine Auswahl der zu untersuchenden Tätigkeiten zu treffen, werden relevante FFT im Kontext der

hochautomatisierten Fahrt anhand von zwei Probandenstudien identifiziert. Diese Tätigkeiten dürfen bei hochautomatisierter Fahrt so lange ausgeführt werden, bis ein Signal den Nutzer darauf hinweist die Fahrzeugkontrolle wieder aufzunehmen. Da der Fahrzeugnutzende bei hochautomatisierter Fahrt somit noch als Rückfallebene dient, wird der Aspekt des Aufgabenwechsels von der FFT zur Kontrollübernahme als besonders kritisch angesehen. Ein weiteres Ziel ist die Untersuchung zweier Einflussgrößen auf die Kontrollrückübernahme. Daher wird unter anderem die mentale Beanspruchung bei einer Auswahl beliebiger FFT anhand psychophysiologischer und leistungsbasierter Parameter untersucht sowie die subjektive Beanspruchungsempfindung erfasst. Weiter soll herausgefunden werden, wie viel Situationsbewusstsein der Fahrzeugnutzende während der hochautomatisierten Fahrzeugführung und der Ausführung verschiedener FFT besitzt. Dafür relevant ist wie Ereignisse aus der Umgebung wahrgenommen, verstanden und für nahe zukünftige Situationen antizipiert werden. Ferner soll untersucht werden, wie lange es dauert, bis sich das Situationsbewusstsein weiter aufbaut und ob messbare Unterschiede zwischen den getesteten FFT vorliegen.

Da es bei hochautomatisierten Systemen dazu kommen kann, dass der Fahrzeugnutzende die Kontrolle über die Fahrzeugführung wieder aufnehmen muss, soll dieser Aspekt bei verschiedenen FFT untersucht werden. Dabei wird im Speziellen die Rückübernahmefähigkeit nach einer RÜA im Stadtverkehr analysiert. Ferner soll der Zusammenhang mit Bezug auf die zuvor erforschten Konstrukte der Beanspruchung und des Situationsbewusstseins geprüft werden.

Für das Forschungsvorhaben werden Untersuchungsmethoden ausgewählt und Studien konzipiert, durchgeführt und ausgewertet. Die methodische Umsetzung dieser Untersuchung fand im statischen Fahrsimulator am Institut für Arbeitswissenschaft an der Technischen Universität Darmstadt statt.

Auf Basis der Ergebnisse soll eine Einschätzung dazu abgegeben werden, wie FFT während hochautomatisierter Fahrt den Fahrzeugnutzenden beanspruchen und in seiner Funktion als Rückfallebene in kritischen Situationen beeinflussen. Daraus werden Hinweise für eine menschengerechte Gestaltung zukünftiger hochautomatisierter Fahrzeugführungssysteme abgeleitet. Die Zielsetzungen lauten zusammenfassend:

- Die Identifikation von zu untersuchenden FFT während hochautomatisierter Fahrt unter dem Aspekt des Nutzungsbedürfnisses.
- Die Bewertung der menschlichen Beanspruchung mittels subjektiven und objektiven Methoden in Abhängigkeit verschiedener FFT während der hochautomatisierten Fahrt.
- Die Analyse des vorhandenen Situationsbewusstseins in Abhängigkeit der verschiedenen FFT während der hochautomatisierten Fahrt sowie die Bewertung, wie lange der Aufbau des Situationsbewusstseins im beschriebenen Kontext dauert.
- Die Untersuchung der Rückübernahmefähigkeit bei Ausführung unterschiedlicher FFT.
- Das Ableiten von Gestaltungshinweisen für die hochautomatisierte Fahrzeugführung.

1.3 Aufbau der Arbeit

In Kapitel 2 dieser Arbeit wird für die späteren empirischen Studien eine Wissensbasis geschaffen. Dafür werden zunächst Aspekte der menschenbezogenen Informationsverarbeitung, der Fahrzeugautomatisierung, FFT sowie das Belastungs-Beanspruchungskonzept und das Situationsbewusstsein vorgestellt. Danach wird der aktuelle Forschungsstand herausgearbeitet, um abschließend die Forschungsfragen für diese Arbeit zu formulieren. In Kapitel 3 wird aufbauend auf den Erkenntnissen des vorherigen Kapitels ein Untersuchungsmodell hergeleitet sowie die zu untersuchenden Konstrukte mittels Leithypothesen in Beziehungen zueinander gebracht. Anschließend folgt die Identifizierung der relevanten FFT für die hochautomatisierte Fahrt in Kapitel 4, das in methodische Ansätze und Ergebnisse unterteilt ist. Der Aufbau von Kapitel 5 ist ähnlich wie beim vorherigen Kapitel und zeigt die methodische Umsetzung sowie die Ergebnisse der Hauptstudie zur Untersuchung der Auswirkungen von FFT während hochautomatisierter Fahrt. Danach werden in Kapitel 6 die Methodik und Ergebnisse diskutiert sowie die Forschungsfragen beantwortet. In Kapitel 7 werden zunächst Gestaltungsempfehlungen in Form eines Fazits dargelegt. Anschließend schließt die Arbeit mit einem Ausblick für zukünftige Forschungsvorhaben ab. Eine Übersicht der Kapitel ist in Abbildung 1-2 dargestellt.

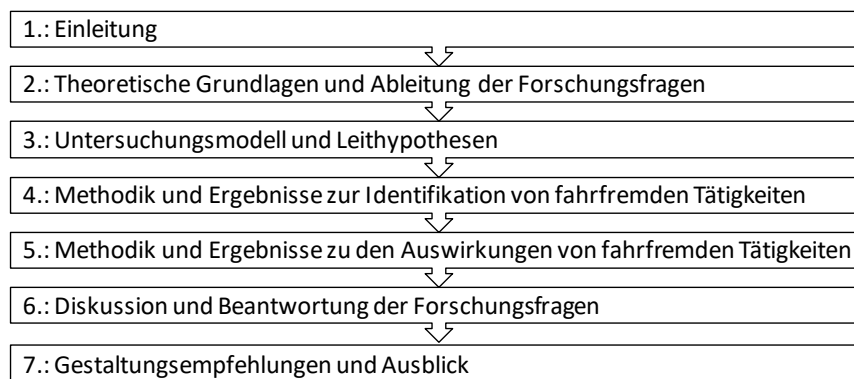


Abbildung 1-2: Aufbau der Arbeit

2 Stand der Forschung

Ab hochautomatisierter Fahrzeugführung kann sich der Fahrzeugnutzende von der Pflicht der dauerhaften Fahrzeugführung und Umgebungsüberwachung abwenden und sich in seiner neu gewonnenen Freizeit mit fahrfremden Tätigkeiten beschäftigen. Diese Tätigkeiten dürfen so lange ausgeführt werden, bis ein Signal den Nutzer darauf hinweist die Fahrzeugkontrolle wieder aufzunehmen. Da der Fahrzeugführer als Rückfallebene dient, wird dieser Aspekt der Kontrollübernahme als besonders kritisch angesehen. Um eine Wissensbasis für spätere empirische Studien zu schaffen, wird im Folgenden der Stand der Forschung dargestellt. Hierfür wird zunächst die menschliche Informationsverarbeitung in Kapitel 2.1 beschrieben. In Kapitel 2.2 werden die Fahrzeugautomatisierung und die Rückübernahme definiert. Anschließend folgt in Kapitel 2.3 eine Definition und Klassifikation von FFT.

Bereits Stanton und Young (2000) haben verschiedene miteinander interagierende Einflussfaktoren und deren Wechselwirkungen für automatisierte Systeme vorgeschlagen. Mit Hilfe von beispielsweise Vertrauen, mentalen Modellen, Erfahrungen, Aufgabenbelastungen, dem Situationsbewusstsein und der mentalen Beanspruchung soll das Verhalten während der Automation erklärt werden. Nach Winter, Happee, Martens und Stanton (2014), Parasuraman, Sheridan und Wickens (2008), Sarter und Woods (1991) sowie Stanton und Young (2000) sind die *mentale Beanspruchung* und das *Situationsbewusstsein* Konstrukte, um die Leistung und Sicherheit in automatisierten Systemen zu erklären. Ein Überblick über die Begriffe Belastung und Beanspruchung wird in Kapitel 2.4 gegeben. In Kapitel 2.5 wird das Situationsbewusstsein erklärt. Der aktuelle arbeitswissenschaftliche Forschungsstand zur Rückübernahmefähigkeit wird in Kapitel 2.6 präsentiert. Abschließend werden Forschungslücken in Kapitel 2.7 identifiziert.

2.1 Menschliche Informationsverarbeitung

Zur Untersuchung von FFT im Kontext der hochautomatisierten Fahrt werden inhaltliche Grundlagen hinsichtlich menschlicher Einflussfaktoren vorausgesetzt, welche im Folgenden erläutert werden.

In diesem Kapitel werden die zentralen Faktoren der Informationsverarbeitung beschrieben, die bei der Ausübung der FFT und der Übertragung der Fahraufgabe vom System an den Menschen relevant sind. Dabei wird bei der Informationsverarbeitung in die drei Abschnitte: (1) Informationsaufnahme, (2) Informationsverarbeitung und (3) Informationsabgabe unterschieden (Schlick, Bruder & Luczak, 2018). Der erste Abschnitt wird in Form der Wahrnehmung in Kapitel 2.1.1 beschrieben. Anschließend folgt der Informationsverarbeitungsprozess, welcher in einerseits *sequentielle Modelle* (vgl. Kapitel 2.1.2) und andererseits *Kapazitätsmodelle* (vgl. Kapitel 2.1.3) unterteilt werden kann. Einführend wird ein Überblick über die wichtigsten *Wahrnehmungsmodalitäten* im Fahrzeugkontext präsentiert.

2.1.1 Wahrnehmung

Beim Informationsverarbeitungsprozess findet die Wahrnehmung eines Reizes mithilfe der Sinneskanäle statt. Nach Schönplugh und Schönplugh (1997) existieren zehn Modalitäten der menschlichen Wahrnehmung. Da für Bubb, Vollrath, Reinprecht, Mayer und Körber (2015) die visuelle, akustische und taktile Modalität im Fahrzeugkontext und speziell zur Erfassung der Geschwindigkeit am relevantesten ist, werden im Folgenden diese weiter detailliert.

Die visuelle Wahrnehmung stellt für den Menschen eine der wichtigsten Modalitäten dar. Die Farbwahrnehmung findet im Frequenzbereich zwischen etwa 380 nm (blau) und 760 nm (rot) statt (Stapelkamp, 2007). Das Sehen beginnt, wenn Licht durch die Hornhaut und die Linse in das Auge eindringt und die Photorezeptoren auf der Netzhaut erreicht. Stäbchenrezeptoren ermöglichen das Hell-Dunkel-Sehen und drei unterschiedlich lichtwellenempfindliche Zapfen dienen zur Wahrnehmung unterschiedlicher Farben. Durch eine elektrochemische Reaktion in der Netzhaut werden Signale über den Sehnerv an das Gehirn weitergeleitet.

Akustische Reize in Form von Luftschallwellen aus der Umgebung werden vom Menschen mit Hilfe des Trommelfells wahrgenommen. Die Schwingungen des Trommelfells werden auf die Gehörknöchelchen im Mittelohr übertragen und stimulieren die Cochlea, welche interpretierbare Informationen an das Gehirn übermittelt. Die auditive Wahrnehmung liegt im Bereich zwischen 20 Hz und 20 kHz und wird je nach Frequenz unterschiedlich stark empfunden. Niedrige und hohe Frequenzen benötigen einen höheren Schalldruckpegel, um gleichlaut wahrgenommen zu werden (Hellbrück & Ellermeier, 2004).

Das Vibrationsempfinden wird durch Rezeptoren in der Haut wahrgenommen, die auf mechanische Verformung reagieren. Die taktile Wahrnehmung hängt von der Körperregion und dem darunterliegenden Gewebe ab. Generell kann die Annahme getroffen werden, dass die Empfindlichkeit von den äußeren Extremitäten hin zum Rumpf abnimmt (Myles & Binseel, 2007). Die meisten Körperregionen des Menschen sind bei Vibrationen zwischen 0,4 Hz und 500 Hz empfindlich.

2.1.2 Sequentielle Modelle

Ein Stufenmodell ist unter anderem das einfache Handlungsmodell nach Luczak (1975). Das Modell untergliedert die Informationsverarbeitung in vier Stufen und ermöglicht in den ersten beiden Schritten *Entdecken* und *Erkennen* eine Differenzierung, siehe Abbildung 2-1. Bei dem Stufenmodell geht man davon aus, dass zur Informationsverarbeitung mehrere einzelne Stufen nacheinander durchlaufen werden müssen. Nach der Theorie ist jede Stufe mit einer Verarbeitungszeit versehen. Unterschiede bei der Informationsverarbeitung beruhen auf der Annahme, dass jede Stufe unterschiedlich viele Ausprägungen besitzen kann, wodurch beispielsweise bei mehreren Handlungsvarianten die Entscheidungsfindung länger dauern und somit Zeit kosten kann.

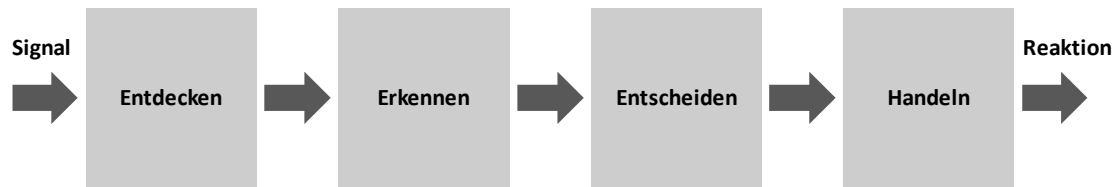


Abbildung 2-1: Einfaches Handlungsmodell nach Luczak (1975)

Weiterführend gibt es Modelle der Regulationsebene wie beispielsweise nach Rasmussen (1983). Dieses Modell unterscheidet zwischen fertigkeitsbasiertem, regelbasiertem und wissensbasiertem Verhalten. Im automobilen Kontext sind Tätigkeiten auf Navigationsebene meist *wissensbasiert* (bewusste Steuerung), auf Führungsebene vorrangig *regelbasiert* (Anwendung erlernter Regeln) und auf Stabilisierungsebene meistens *fertigkeitsbasiert* (Routinehandlungen, die automatisiert und unbewusst ablaufen). Dabei stellt die Navigationsebene besonders hohe kognitive Anforderungen an den Fahrer, wohingegen Tätigkeiten der Stabilisierungsebene hohe Automatismen besitzen, welche dazu führen, dass der Prozess schneller abläuft.

2.1.3 Kapazitätsmodelle

Bei Kapazitätsmodellen ist die Informationsverarbeitung nicht durch den Faktor Zeit, sondern durch eine kognitive Kapazität limitiert. Demnach geht man davon aus, dass diese kognitive Kapazität nur in einem begrenzten Maße vorliegt. Ferner können diese Kapazitätsmodelle in aktivierungstheoretische und aufmerksamkeitstheoretische Konzepte sowie multiple Ressourcen-Theorien weiter untergliedert werden (Schlick et al., 2018).

Aktivierungstheoretische Konzepte

Nach Schlick et al. (2018) analysieren aktivierungstheoretische Modelle die Regulation der Anstrengung unter psychisch energetischen Gesichtspunkten. Ähnlich wie bei sequentiellen Modellen gehen strukturelle Kapazitätsmodelle davon aus, dass Reize sequentiell bei der Informationsverarbeitung bearbeitet werden. Gegenseitige Wechselwirkungen mehrerer Handlungen werden durch Kapazitätsbegrenzungen begründet. In diesem Kontext werden die *Kapazität* oder auch *Ressourcen* als eine Art Treibstoff zum Ausführen der Informationsverarbeitung angesehen (Kahneman, 1973). Die Anstrengungsregulation bei der Informationsverarbeitung nach Sanders (1983) kann als Aktivierungstheorie einkategorisiert werden, da für die Entscheidungsfindung und die Handlung von der aktuellen Aktiviertheit abhängig sind.

Aufmerksamkeitstheoretische Konzepte

Erste aufmerksamkeitstheoretische Konzepte wurden von Broadbent (1958) entwickelt. Die *Filter Theory of Attention* ist eine der ersten Theorien der Aufmerksamkeit, die von einem Informationsverarbeitungsansatz ausgeht. Dabei wird die menschliche Informationsverarbeitung als

serielles Verarbeitungssystem angesehen, das durch einen Filter vor Überlastung geschützt wird. Nach der Theorie können zwei gleichzeitig dargebotene Eingangsreize simultan zu einem sensorischen Speicher gelangen. Jedoch wird nur einer der Reize durch den Filter priorisiert und weitergeleitet. Daher spricht man von einer frühen Selektion. Reize, die für die Aufgabendurchführung irrelevant erscheinen, werden blockiert.

Die von Treisman und Geffen (1967) entwickelte *Attenuation Theory* geht davon aus, dass nicht beachtete Reize abgeschwächt weitergeleitet werden und somit unter Umständen mehrere Filterstufen in der Verarbeitung durchlaufen, bevor sie letztlich ignoriert werden.

Bei den *späten Selektionstheorien* von Deutsch und Deutsch (1963) wird die These aufgestellt, dass alle Eingangsreize kognitiv verarbeitet werden, die Filterung jedoch erst kurz vor der motorischen Reaktion erfolgt.

Das Informationsverarbeitungsmodell nach Wickens und Carswell (2012) stellt eine aufmerksamkeitstheoretische Erweiterung des Modells nach Luczak (1975) dar, siehe Abbildung 2-2. Reize treffen auf den sensorischen Kurzzeitspeicher und werden dann im Bereich der Perzeption wahrgenommen, doch nur ein Teil der Informationen wird in die Entscheidungsphase (kognitive Verarbeitung) weitergeleitet. Ein Austausch mit dem Arbeits- und Langzeitgedächtnis findet somit vor der Aktionsauswahl statt. Besonders relevant sind die Aufmerksamkeitsressourcen, da sie den Informationsverarbeitungsprozess über die verschiedenen Stufen moderieren. Darüber hinaus beinhaltet das Modell noch die Interaktion mit dem technischen System und der Umwelt.

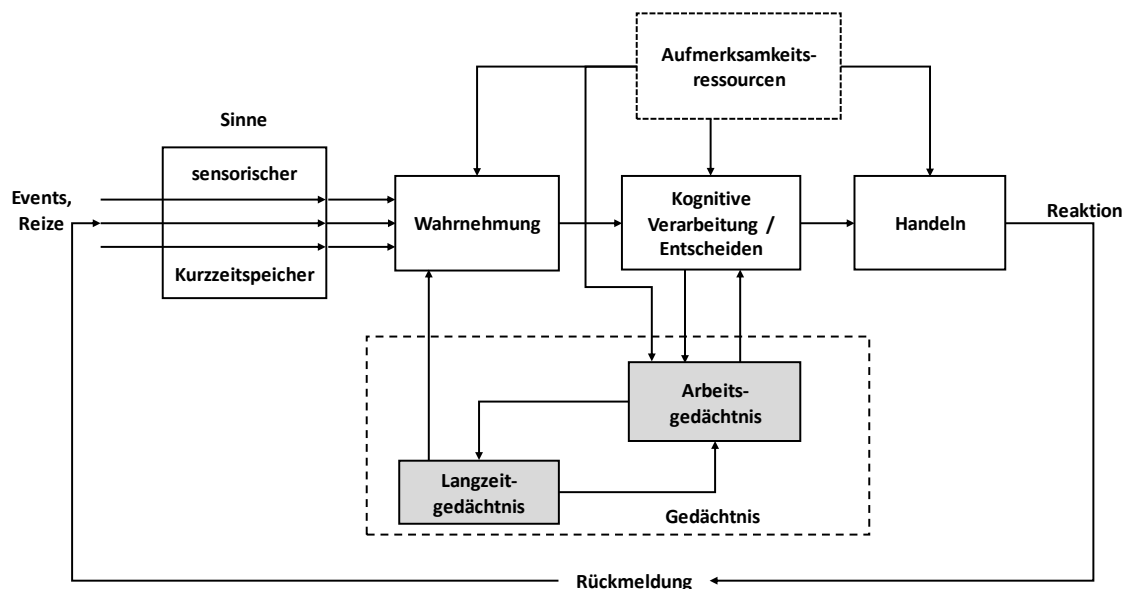


Abbildung 2-2: Informationsverarbeitungsmodell in Anlehnung an Wickens und Carswell (2012)

Im Gegensatz dazu geht das strukturelle Kapazitätsmodell nach Welford (1960) davon aus, dass zeitgleich nur ein Prozess verarbeitet werden kann. Pashler (1994) erweitert das Modell und schlägt vor, dass die Prozesse der Informationsverarbeitung in abgrenzbaren Stufen nacheinander ablaufen:

(1) *perzeptuelle Verarbeitung*, (2) *Reaktionsauswahl* sowie (3) *Reaktionsausführung*. Dabei läuft die Reaktionsauswahl seriell ab und stellt dadurch einen Flaschenhals in der Informationsverarbeitung dar. Bei zeitlich nah aufeinander folgenden aufgabenrelevanten Reizen ergibt sich somit eine *Wartezeit* für die zweite Reaktion, siehe Abbildung 2-3. Daraus resultiert eine zeitliche Verzögerung, die zu Leistungsminderungen führen kann.

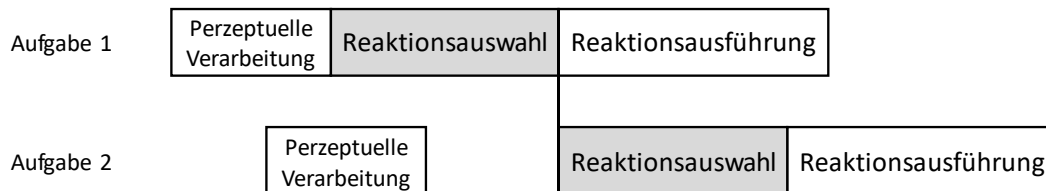


Abbildung 2-3: Verarbeitungsstufen im Kapazitätsbegrenzungsmodell nach Pashler (1994)

Die Verarbeitungen verschiedener Reize werden bei graduellen Kapazitätsmodellen parallel ausgeführt, während sie bei den bereits vorgestellten strukturellen Kapazitätsmodellen seriell aufeinander erfolgen. Die Fähigkeit Simultanaufgaben auszuführen ist davon abhängig, wie viele Kapazitäten die jeweilige Aufgabe erfordert. Bei gleichzeitiger Ausführung zweier Aufgaben wird die Leistung einer oder beider Aufgaben vermindert, da nicht genügend Kapazität zur Verfügung steht.

Fällt die Ressourcenversorgung unter ein kritisches Niveau, sinkt die Leistung und Prozessdauer und/oder die Fehleranzahl steigt. Der Zusammenhang zwischen Leistung und Ressourcen wurde von Norman und Bobrow (1975) durch die *Leistungs-Ressourcen-Funktionen* beschrieben, die für die Ausführung eines einzelnen Prozesses gelten, siehe Abbildung 2-4 links. Man nimmt an, dass es Bereiche bei der Ausführung eines kognitiven Prozesses gibt, in denen es zur Verbesserung der Leistung in Abhängigkeit von verstärkter Kapazitätszuweisung kommt (*ressourcenbegrenzter Bereich*). Daneben gibt es Bereiche, in denen eine verstärkte Kapazitätszuweisung bezüglich dieses Prozesses nicht zur Verbesserung der Leistung führt (*datenbegrenzte Bereiche*).

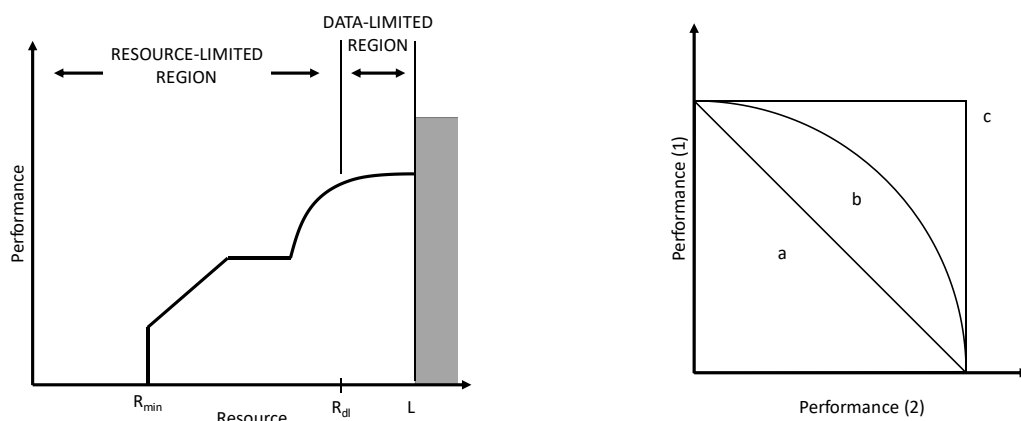


Abbildung 2-4: Links: Leistungs-Ressourcen-Funktion; Rechts: Performance-Operating-Characteristics in Anlehnung an Norman und Bobrow (1975)

Die Leistungsfähigkeit zweier Handlungen kann durch den Performance-Operating-Characteristics Zusammenhang beschrieben werden, siehe Abbildung 2-4 rechts. Hierbei geht man davon aus, dass eine

begrenzte Kapazität vorhanden ist und dass diese von beiden Aufgaben sowohl komplementär als auch additiv verwendet werden kann. Weiter muss bei dieser Modellannahme berücksichtigt werden, dass die Zuweisung von Kapazität unter menschlicher Kontrolle steht und dementsprechend variiert werden kann. Wie zu erkennen ist, gibt es Tätigkeiten, die sich (a) stark gegenseitig beeinflussen, (c) die komplett unabhängig voneinander sind oder (b) eine Mischform bilden.

Multiple Kapazitätsmodelle

Strukturelle als auch graduelle Kapazitätsmodelle gehen von einer Kapazitätsbegrenzung einer *einzigsten* Kapazität aus, deren Zuweisung auf zwei oder mehrere verschiedene Handlungen koordiniert werden muss. Die von Wickens (1984) vorgestellte *multiple Ressourcen Theorie* berücksichtigt die Tatsache, dass es einfacher ist die Aufgabenausführung zwischen verschiedenen Wahrnehmungsmodalitäten gleichzeitig durchzuführen als innerhalb eines Wahrnehmungskanals. Diese Erkenntnis geht somit von mehreren spezifischen Verarbeitungsressourcen aus. Die Ressourcen können als multidimensionaler Raum dargestellt werden, bestehend aus den *sensorischen Modalitäten* (visuell oder auditiv), der *Kodierung* (räumliche oder verbale Informationen), den *Verarbeitungsstufen* (Perzeption, Kognition, Handlungsauswahl) und der *Antwort*. Letzteres kann in händisch und sprachlich unterteilt werden, siehe Abbildung 2-5. Nach dem Modell interferieren zwei Aufgaben stärker, wenn sie auf die gleichen Ressourcen zurückgreifen. Diese Interferenzen können minimiert werden, wenn zwei gleichzeitig ablaufende Prozesse sich weniger ähnlich sind.

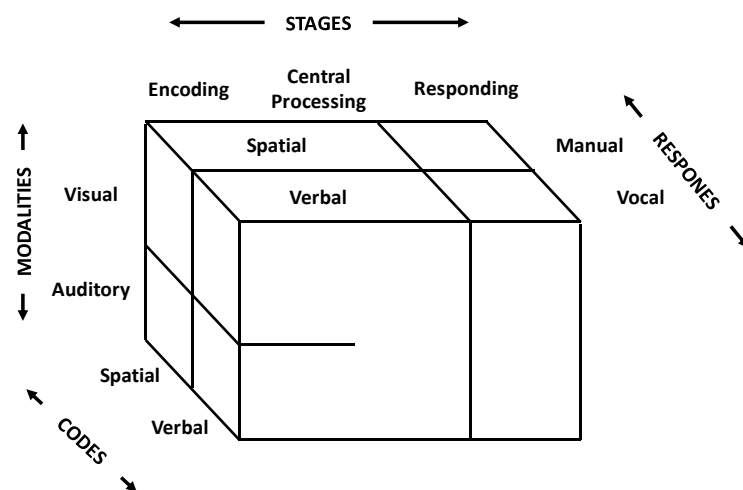


Abbildung 2-5: Struktur der Verarbeitungsressourcen nach Wickens (1984)

Zur Anwendung des Modells wird folgendes Beispiel dargelegt. Bei der manuellen Fahraufgabe handelt es sich um eine Aufgabe mit einem visuellen Input, einer räumlichen Kodierung und einer motorischen Reaktion. Das Modell sagt voraus, dass zum Beispiel die Bedienung eines Smartphones stärkere Interferenzen mit der Fahraufgabe verursacht, weil beide Tätigkeiten zu großen Teilen dieselben visuellen Ressourcen beanspruchen. Beim Führen eines Gesprächs handelt es sich hingegen um

auditiven Input, der sprachlich kodiert ist und eine verbale Reaktion erfordert, was zu geringeren Ressourcenkonflikten führt.

2.2 Fahrzeugautomatisierung

In diesem Teil der Arbeit wird die Systematisierung und Darstellung von Automatisierungsstufen mit dem Hauptaugenmerk der Fahrzeugautomatisierung behandelt. Ziel ist es, Übereinstimmungen und Unterschiede zu identifizieren und sich abschließend auf eine Automatisierungsstufe, die als kritisch angesehen wird, als Untersuchungskontext für diese Arbeit, festzulegen.

2.2.1 Automatisierung der Fahrzeugführung

Donges (1999) stellt eine der ersten Einteilungen anhand sechs Automatisierungsgraden bei der Fahrzeugführung vor. Nach Braess und Donges (2006) lassen sich diese aufsteigend nach ihren Automationsstufen wie folgt beschreiben: (1) *Informationssysteme*, (2) *Warnsysteme*, (3) *Fahrdynamikregelung*, (4) *Intuitive Handlungsempfehlung*, (5) *Partielle Automatisierung* und (6) *Vollautomatisierung*. Gründl (2005) gliedert Fahrerassistenzsysteme hinsichtlich des *Grads der Fahrerunterstützung* in vier Automatisierungsstufen: (1) *Information*, (2) *Warnung*, (3) *korrigierender Eingriff* sowie (4) *Übernahme der Fahraufgabe*. Die Fahraufgaben werden zudem in die dreistufige Fahrzeugführungshierarchie nach Donges (1982) eingeteilt, welche die *Navigationsebene* (Festlegung der Fahrtroute), *Führungsebene* (Umsetzung der Fahrtroute) und *Stabilisierungsebene* (Längs-/Querführung des Fahrzeugs durch den Fahrer) umfasst. Eine Klassifizierung in fünf Klassen von Assistenzsystemen nehmen Vollrath, Briest, Schießl, Drewes und Becker (2006) folgendermaßen vor: (1) *Informationssysteme*, (2) *Warnsysteme*, (3) *aktiv unterstützende Systeme*, (4) *eingreifende Systeme* und (5) *nicht übersteuerbare Systeme*. Die letzten beiden Stufen sind mit der partiellen Automatisierung und der Vollautomatisierung nach Braess und Donges (2006) vergleichbar. Das DFG-Projekt *H-Mode* liefert ein eindimensionales Automatisierungsspektrum und beschreibt folgende fünf Stufen: (1) *manuell*, (2) *assistiert*, (3) *semiautomatisiert*, (4) *hochautomatisiert* und (5) *vollautomatisiert* (Flemisch, Kelsch, Löper, Schieben & Schindler, 2008).

Die in der jüngeren Literatur häufig verwendeten Termini für die Automatisierungsstufen sind in Tabelle 2-1 zusammenfassend aufgelistet. Der von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) veranlasste *Runde Tisch Automatisiertes Fahren* stellte im Ergebnisbericht eine Klassifizierung für automatisierte Fahrfunktionen mit fünf Stufen vor: (0) *Driver only*, (1) *Assistiert*, (2) *Teilautomatisiert*, (3) *Hochautomatisiert* und (4) *Vollautomatisiert* (Gasser et al., 2012). Dabei werden neben der Umweltüberwachung auch die Verfügbarkeit des Fahrers sowie Einsatzbereiche und Systemeigenschaften berücksichtigt. Dieser Bericht hat auch zur Anpassung der gesetzlichen Rahmenbedingungen beigetragen, dass Fahrzeuge nicht mehr der ständigen Kontrolle des Fahrers

unterliegen müssen (Drucksache 18/8951, Deutscher Bundestag, 2016). Die fünf Automatisierungsgrade der BASt-Projektgruppe haben sich mittlerweile etabliert und dienen nach Seeck, Gasser und Auerswald (2017) als Grundlage für weitere Organisationen.

Tabelle 2-1: Zusammenfassung der Kategorisierungen von Automatisierungsstufen nach VDA, BASt, BMVI, SAE und NHTSA in Anlehnung an Bartels und Ruchatz (2015) und Kompass (2015) sowie Darstellung der Aufgabenteilung zwischen Mensch (👤) und Automationssystem (🚗)

Organisation	Stufe 0	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Stufe 5
VDA (2015)	Driver only	Assistiert	Teilautomatisiert	Hochautomatisiert	Vollautomatisiert	Fahrerlos
BASt (2012)	Driver only	Assistiert	Teilautomatisiert	Hochautomatisiert	Vollautomatisiert	-
BMVI (2015)	-	Assistiert	Teilautomatisiert	Hochautomatisiert	Vollautomatisiert	Autonom
SAE (2018)	No Automation	Driver Assistance	Partial Automation	Conditional Automation	High Automation	Full Automation
NHTSA (2013)	No Automation	Function Specific Automation	Combined Function Automation	Limited Self-Driving Automation	Full Self-Driving Automation	Full Self-Driving Automation
Aufgabenteilung						
Fahrzeug-führung	👤	👤	🚗	🚗	🚗	🚗
Umgebungs-überwachung	👤	👤	👤	🚗	🚗	🚗
Rückfallebene	👤	👤	👤	👤	🚗	🚗

Unter anderem wurden sie erstmalig 2014 im Bericht J3016 von der amerikanischen Society of Automotive Engineers (SAE), vom deutschen Verband der Automobilindustrie (VDA, 2015) sowie vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI, 2015) übernommen, abgeändert und jeweils um die Stufe *autonomes* bzw. *fahrerloses* Fahren erweitert (Cacilo, Schmidt & Wittlinger, 2015). Auf dieser Systemebene bewältigt die Fahrzeugautomation alle während der Fahrt auftretenden Situationen selbstständig. Bedienelemente für die Fahrzeugführung sind nicht vorgesehen. Die National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) publizierte 2013 eine Klassifikation zwischen *manueller* (Level 0) und *vollständig automatisierter* Fahrzeugführung (Level 4) in fünf Automatisierungsstufen. Im Jahr 2016 teilte die SAE mit, dass die NHTSA die sechs Automatisierungsstufen der SAE übernommen hat, um durch eine einheitliche und konsistente Nomenklatur mehr Übersichtlichkeit zu gewährleisten (SAE, 2016).

Die wesentlichen Unterschiede zwischen den Klassifizierungen BASt und SAE liegen in der Anzahl der Automatisierungsstufen und den unterschiedlichen Bezeichnungen von Stufe 3 (Gasser, Seeck & Smith, 2015). Die *Hochautomatisierung* (Stufe 3 nach BASt, VDA und BMVI) wird von der SAE als *conditional automation* und die *Vollautomatisierung* (Stufe 4 nach BASt, VDA und BMVI) von der SAE als *high automation* bezeichnet (Gasser, 2015). Die Einstufung *full automation* bzw. *fahrerlos* nach SAE, VDA und BMVI führt darüber hinaus die ranghöchste Automatisierungsstufe ein, auf der kein menschlicher Fahrer mehr zum Führen des Fahrzeugs erforderlich ist. Nach den BASt- und VDA-Klassifizierungen der Stufe 3 ist es dem Autofahrer zeitweilig gestattet sich von der Verkehrssituation abzuwenden, da das

hochautomatisierte Fahrzeug in der Lage sein wird in bestimmten Fahrsituationen die Längs- und Querführung für gewisse Zeiträume zu übernehmen, ohne dass der Fahrzeugnutzende die Umgebung überwachen muss. Die Fahraufgabe muss jedoch mit *ausreichender Zeitreserve* wieder aufgenommen werden können, wenn das System mittels RÜA dazu auffordert. Andererseits erfordert die *conditional automation* (SAE Level 3), dass der Fahrzeugnutzer *unverzüglich* reagiert. Erst auf Stufe 4, *high automation*, welche nach deutscher Nomenklatur der *Vollautomatisierung* entspricht, agiert das Fahrzeug bei ausbleibender Übernahme als sogenannte Rückfallebene (Cacilo et al., 2015).

Ferner ist der Aufgabenwechsel von automatisierter Fahrt zurück zur manuellen Fahrzeugführung für die arbeitswissenschaftliche Betrachtung als kritisch anzusehen. Daher ist insbesondere der Übergang zwischen den Stufen 2 und 3 zu betrachten, da die Hauptverantwortung für die Verkehrsüberwachung bis Stufe 2 beim Fahrzeugführer liegt und das Verkehrsgeschehen ständig überwacht werden muss. Da das automatisierte System ab Stufe 3 für die Überwachung der Fahrumgebung verantwortlich ist, kann sich der Fahrer, welcher bis Stufe 3 als Rückfallebene dient, vom Verkehrsgeschehen abwenden. Aus den gängigen Literaturangaben geht hervor, dass vor allem die Definition der SAE in der englischsprachigen Literatur häufig zitiert und für die Klassifikation der Automationsstufen herangezogen wird. In deutschsprachigen Quellen wird dagegen die Definition der BASt verwendet.

Aus diesen Gründen wird die Automationsstufe *hochautomatisierte Fahrt* nach BASt bzw. *conditional automation* nach SAE in dieser Arbeit verwendet.

2.2.2 Rückübernahmefähigkeit bei automatisierter Fahrzeugführung

Eine wesentliche Frage in der hochautomatisierten Fahrzeugforschung ist, wie schnell der Fahrer auf ein kritisches Ereignis oder eine Übernahmeaufforderung reagieren und somit die Kontrolle über das Fahrzeug rückübernehmen kann. Bis automatisierte Systeme in der Lage sein werden alle Fahraufgaben unter allen Bedingungen auszuführen (Automationsstufen: vollautomatisiert (L4)/ fahrerlos (L5)), müssen die Fahrzeugnutzenden, wenn die Automatisierung ausfällt oder an ihre Betriebsgrenzen stößt, die Kontrolle wieder übernehmen. Die Teilautomatisierung (L2), die bereits von mehreren Automobilherstellern zur Verfügung gestellt wird, erfordert, dass die Fahrzeugnutzenden die Straße ständig überwachen und in der Lage sind bei kritischen Ereignissen einzugreifen. Dagegen können bei höheren Automationsstufen (wie z.B. L3 / L4) Fahrzeugnutzende während der automatisierten Fahrt die Überwachungsaufgabe an das System abgeben und sich so mit FFT beschäftigen. Wie lange die Übergabezeit zur manuellen Fahrt dauert und welche Faktoren die Übernahmezeit erklären, wurde bereits in den vergangenen Jahren untersucht.

Der Prozess der Übernahme kann in mehrere Informationsverarbeitungsschritte eingeteilt werden, siehe Abbildung 2-6.

Der Prozess startet mit der hochautomatisierten Fahrzeugführung. Gibt das automatisierte System eine RÜA aus, folgt die menschliche Wahrnehmung dieser. Anschließend findet der Aufgabenwechsel hin zur Fahrzeugübernahme und -führung statt, indem die ausgeführte FFT unterbrochen und der Blick wieder der Straße zugewendet wird. Diese Blickzuwendung geschieht meist reflexartig. Bevor jedoch eine Handlungsauswahl erfolgen kann, werden die kognitiven Prozesse verarbeitet. Parallel dazu wird ebenfalls reflexartig die motorische Bereitschaft hergestellt. Diese ist durch das Greifen der Hände ans Lenkrad und oder das Umsetzen der Füße an die Pedale charakterisiert. Abschließend kann die manuelle Kontrolle über das Fahrzeug übernommen werden, indem ein Lenk- und / oder Bremsengriff für die laterale und longitudinale Steuerung ausgeführt wird (Gold & Bengler, 2014; Petermeijer, Winter & Bengler, 2016; Zeeb, 2016).

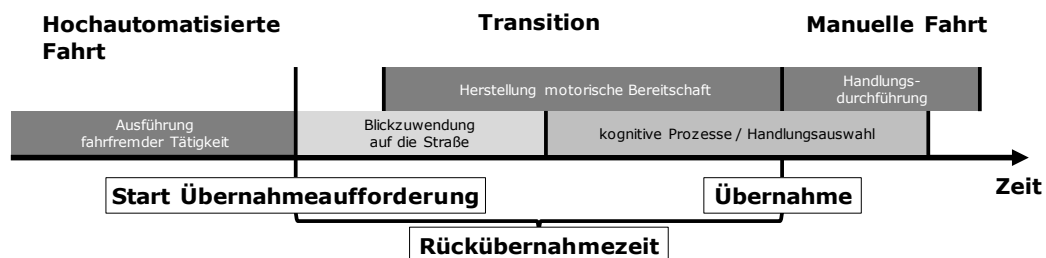


Abbildung 2-6: Systematische Darstellung einer manuellen Rückübernahme der automatisierten Fahrzeugführung in Anlehnung an Zeeb (2016)

Die Übernahme durch den Fahrer wird in der Literatur oftmals ab dem Punkt definiert, sobald das Lenkrad um mehr als 2° gedreht oder das Bremspedal um mehr als 10% gedrückt wurde (vgl. Radlmayr, Fischer & Bengler, 2019). Diese Übernahme kann reflexhaft und schnell ausgeführt werden. Jedoch spricht dies nicht für eine adäquate Übernahmequalität, da diese durch eine schnelle Lenkbewegung gegebenenfalls unfallfördernd ist. Eine kognitive Verarbeitung und eine richtige Handlungsauswahl sind deshalb für eine unfallvermeidende Übernahme notwendig. Daher kann die Übernahmefähigkeit in Übernahmezeit und Übernahmequalität unterteilt werden.

In der Literatur finden sich unterschiedliche Messzeitpunkte für Übernahmezeiten. Gold, Damböck, Lorenz und Bengler (2013) als auch Vogelpohl, Kühn, Hummel, Gehlert und Vollrath (2018) verwenden unter anderem die *Blickreaktionszeit*, die *Zeit bis zum ersten Blick auf die Straße*, die *Eingriffsbereitschaft* (z.B. Hands-on-Wheel), die *Übernahmezeit* und die *Zeit bis in den Spiegel geblickt wurde*. Wird ein Ausweichmanöver initiiert, beispielsweise durch eine gerichtete RÜA, kann auch der Fahrstreifenwechsel als Reaktionszeit herangezogen werden (Petermeijer, Cieler & Winter, 2017). Die in der Literatur am häufigsten verwendete Reaktionszeit ist die *Rückübernahmezeit* (englisch: *Take-over Time*). Sie ist definiert als Zeit zwischen RÜA und dem Eingriff in die Fahrzeugführung. Diese Zeit weist in den Literaturangaben bereits eine große Spannweite auf. So zeigte sich in Winter, Stanton, Price und Mistry (2016) eine durchschnittliche Bremsreaktionszeit von nur 0,87 s, bei einer Metaanalyse von 25 Studien

bei Eriksson und Stanton (2017) eine durchschnittliche Rückübernahmezeit von 2,97 s [MIN = 1,9 s; MAX = 25,7 s] und bei Petermann-Stock, Hackenberg, Muhr und Mergl (2013) eine Rückübernahmezeit von 3,2 s [MAX = 8,8 s]. Die Beurteilung der Kontrollierbarkeit der Fahrzeugführung nach RÜA wird in der Literatur oftmals als Rückübernahmequalität bezeichnet. Ein Konsens über die Bestimmung der Rückübernahmequalität hat sich jedoch bisher noch nicht gebildet. Dies liegt unter anderem daran, dass eine Vielzahl verschiedener Straßenverkehrssituationen existieren, die sich nicht mit einem einzelnen Messwert abdecken lassen. Häufig wird dennoch die Übernahmequalität von den *Verzögerungswerten*, der *Zeit bis zur bevorstehenden Kollision* (englisch: *Time-to-Collision*, *TTC*) und der *Kollisionsanzahl* bestimmt, um so eine quantitative Einschätzung der Rückübernahmequalität zu ermöglichen (Gold et al., 2013). Verzögert der Fahrzeugführer stark, so wird dies in der Literatur häufig mit einer schlechteren Übernahmequalität assoziiert. Die Rückübernahmequalität sinkt mit einer kürzeren *TTC*. Ferner wird die Rückübernahmequalität als schlecht eingeordnet, sobald es zu einer Kollision kommt. Objektive Daten lassen einen gewissen Interpretationsspielraum zu, da beispielsweise eine spätere Reaktionszeit eine bessere Übernahmequalität nicht ausschließt. Daher wurde von Naujoks, Wiedemann, Schömig, Jarosch und Gold (2018) ein subjektives Beurteilungsverfahren zur Fahraufgabenübernahme (*Take-over Controllability*, *TOC*) entwickelt. Dieses standardisierte Bewertungsschema ermöglicht es, verschiedene menschliche Leistungsaspekte bei der Übernahme in eine Kennziffer zu überführen, indem vor, während und nach der Transition zur manuellen Fahrzeugsteuerung Videomaterial im Fahrzeuginnenraum sowie Daten des Verkehrsszenarios nach einem standardisierten Schema kodiert werden. Darunter fallen unter anderem die Bremsreaktion, das Längs- und Querführungsverhalten, aber auch die sichtbaren Emotionen und die generelle Fahrzeugbedienung.

Da sich der Fahrzeugnutzende ab der hochautomatisierten Fahrt vom Verkehrsgeschehen abwenden darf und dieser dennoch im Falle einer RÜA als Rückfallebene gilt, wird der Aufgabenwechsel als kritisches Ereignis angesehen und wird daher im Weiteren untersucht.

2.2.3 Reaktionsfähigkeit bei manueller Fahrt

Da bereits bei der manuellen Fahrzeugführung die Reaktionsfähigkeit bei einem kritischen Ereignis relevant ist, wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit ein Vergleich zwischen der menschbezogenen Reaktionszeit bei RÜA und der Reaktionszeit bei manueller Fahrzeugführung gezogen. Hierfür wird an dieser Stelle der Bremsvorgang bei manueller Fahrt vorgestellt. Burckhardt (1985) teilt einen Notbremsvorgang schematisch in mehrere zeitliche Abschnitte ein, siehe Abbildung 2-7.

Zu Beginn eines Bremsvorgangs tritt eine Situation ein, die eine Reaktion des Fahrers erfordert. Da der Blick des Fahrers nicht zwingend in die entsprechende Richtung zeigt, muss der Blick innerhalb der *Blickzuwendungszeit* auf die relevante Stelle fixiert werden. Nach Burg und Arnold (2009) kann dies in die periphere Wahrnehmung, die Blickzuwendung sowie in das foveale Wahrnehmen und Erkennen

aufgeteilt werden. Anschließend erfolgt die Entscheidung, ob und welche Reaktion getätigt wird. Dies wird als *Reaktionsgrundzeit* beschrieben und endet mit dem Handlungsbeginn. Die *Reaktionszeit* wird in der Literatur oft als Zusammenfassung der *Blickzuwendungszeit* und der *Reaktionsgrundzeit* angesehen (Breuer, 2012). Die Zeit zwischen dem Beginn der Fußbewegung und der Betätigung des Bremspedals wird als *Umsetzzeit* bezeichnet. Die *erweiterte Reaktionszeit* schließt die *Reaktionszeit* und die *Umsetzzeit* mit ein. Die anschließende *Ansprechzeit* beschreibt das Zeitfenster, in dem die Elastizität des hydraulischen Systems überwunden wird. Nach Beginn der Bremsung steigt der Bremsdruck in Abhängigkeit der Pedalbetätigung an, was als *Schwellzeit* beschrieben wird. Wenn der maximal mögliche Bremsdruck erreicht ist, beginnt die *Vollbremszeit*, die bis zum Stillstand des Fahrzeugs andauert (Weiße, 2003).

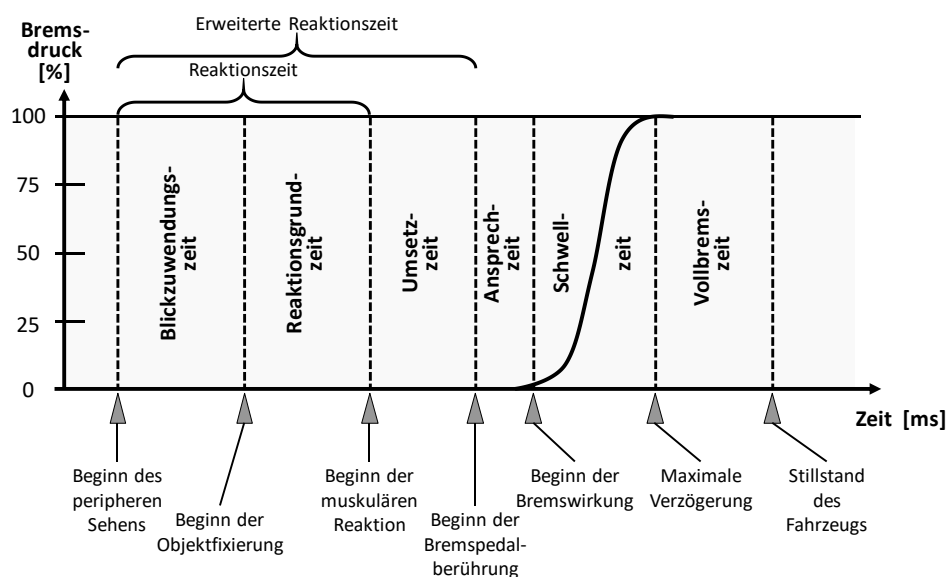


Abbildung 2-7: Zeitanteile eines Notbremsvorgangs in Anlehnung an Burckhardt (1985), modifiziert nach Weiße (2003)

Summala (2000) nennt unter anderem die mentale Beanspruchung (vgl. Kapitel 2.4), aber auch etwaige Krankheiten und den Drogenmissbrauch als negative Einflussfaktoren für die *erweiterte Reaktionszeit*. Weiter stellte er heraus, dass Personen, die selbst keine weitere *Blickzuwendungszeit* benötigten, bei höherer mentaler Beanspruchung eine verlängerte *Reaktionsgrundzeit* und *Umsetzzeit* aufweisen. Rückwirkend kann somit diese Zeitspanne (Reaktionsgrundzeit und Umsetzzeit) als Indikator für die mentale Beanspruchung herangezogen werden.

2.3 Fahrfremde Tätigkeiten

In diesem Abschnitt werden ausgehend von der manuellen Fahrt die Begriffe (*Un*)aufmerksamkeit und *Fahrerablenkung* beschrieben, klassifiziert und anschließend der Begriff *fahrfremde Tätigkeiten* bei höheren Automatisierungsstufen definiert.

2.3.1 Unaufmerksamkeit und Fahrerablenkung

Laut Lemmer (2014) sind bis zu 86% der Verkehrsunfälle auf menschliches Fehlverhalten zurückzuführen. Nach Dingus et al. (2006) ist bei etwa 80% aller Unfälle der Blick des Fahrzeugführenden vor einem kritischen Ereignis nicht auf die Straße gerichtet. Die Ursachen dafür werden im folgenden Abschnitt erörtert. In der Literatur finden sich verschiedene Aspekte für kritische Verkehrssituationen. Nach Klauer, Neale, Dingus, Ramsey und Sudweeks (2005) sind dies vor allem das *Ausüben von sekundären Aufgaben*, *fahrbedingte Unachtsamkeit*, *Blickabwendungen* und *Ermüdung*. Nach Lee, Young und Regan (2009) wird die verringerte Aufmerksamkeit hinsichtlich der für die Fahrsicherheit benötigten Fahrtätigkeiten, ohne dass eine konkurrierende Aktivität ausgeführt wird, als *Unaufmerksamkeit (inattention)* bezeichnet. Demnach kommen als Ursachen für Gefahrensituationen sowohl der Zustand (z.B. Müdigkeit, Unkonzentriertheit oder Trunkenheit) als auch Handlungen des Fahrzeugführenden oder die Fokussierung auf mentale Prozesse (z.B. Tagträumen, Problemlösung) in Betracht. Allgemein wird die Aufmerksamkeit nach Allport (1993) als die Fähigkeit beschrieben, gezielt einzelne Stimuli aus den angebotenen Reizen der Umwelt auszuwählen und diese zu bevorzugen, während andere gleichzeitig ausgeblendet werden.

Regan, Hallett und Gordon (2011) nehmen eine Unterteilung in fünf verschiedene Arten von Unaufmerksamkeit im Fahrzeugkontext vor, welche in Abbildung 2-8 dargestellt ist.

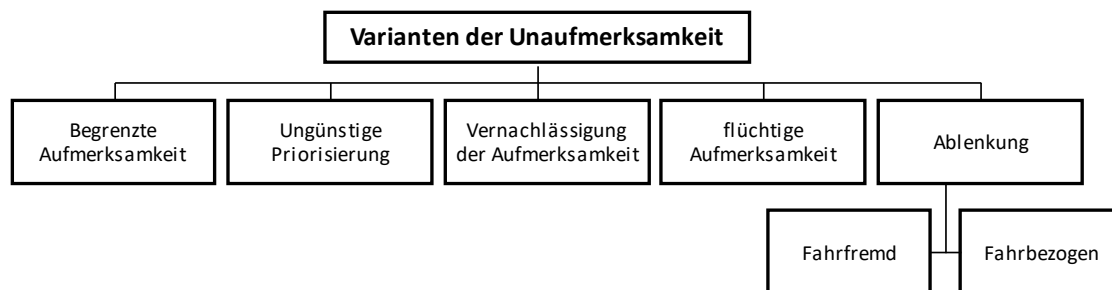


Abbildung 2-8: Modell der *Unaufmerksamkeit* in Anlehnung an Regan et al. (2011), übersetzt von Hackenfort (2012)

Hackenfort (2012) übersetzt die von Regan et al. (2011) gewählte Einteilung und bezeichnet die erste Kategorie als *begrenzte Aufmerksamkeit*, welche sich auf physische oder biologische Einschränkungen, zum Beispiel dem Einschlafen während der Fahrt, bezieht. Die zweite Kategorie stellt die *ungünstige Priorisierung* anhand einer Vielzahl bestehender fahrtrelevanter Aktivitäten dar, wie beispielsweise der zu lange Schulterblick und das damit verbundene Übersehen eines von vorne kommenden Fußgängers. Die dritte Kategorie beschreibt die *Vernachlässigung der Aufmerksamkeit* aufgrund konditionierter Lernprozesse. Beispielsweise wird die notwendige Aufmerksamkeit vor dem Überqueren eines Bahnübergangs durch ein Hilfsinstrument, wie zum Beispiel eine Schranke, reduziert. Die vierte Kategorie beschreibt die *flüchtige Aufmerksamkeit*, die auftritt, wenn beispielsweise bei der

Autobahnauffahrt nicht genügend auf den rückwärtigen Verkehr geachtet wird. Die letzte Kategorie wird als *Ablenkung* des Fahrzeugführenden interpretiert.

Laut Lee et al. (2009) und Regan et al. (2011) bezeichnet driver distraction die (un-)bewusste Abwendung der Aufmerksamkeit von Tätigkeiten, die ein gefahrloses Fahren ermöglichen, hin zu konkurrierenden Aktivitäten. Der Unterschied zwischen *Unaufmerksamkeit* und *Ablenkung des Fahrzeugführenden* besteht daher darin, dass beim letztgenannten das Vorhandensein externer Ereignisse oder Handlungen, Personen oder Objekte erforderlich sind, die als Ablenkung fungieren und (temporär) mit der Aufmerksamkeit des Fahrers zur Bewältigung primärer Fahraufgaben konkurrieren (Lee et al., 2009).

Durch eine Ablenkung kann die Wahrnehmung, die Entscheidungsfindung und die Handlung beeinträchtigt werden, sodass das Risiko von Unfällen oder Korrekturmaßnahmen durch den abgelenkten Verkehrsteilnehmenden bei manueller Fahrt zunimmt (Trezise et al., 2006). Grundsätzlich werden in der Literatur zwei Subkategorien von Ablenkung unterschieden. Einerseits wird die Aufmerksamkeit des Fahrzeugführenden zur sicheren Fahrzeugführung durch konkurrierende *fahrfremde Tätigkeiten (non-driving related tasks)*, wie exemplarisch das Versenden einer Textnachricht per Smartphone, das Ansehen eines Videos sowie das Telefonieren während der Fahrt, beeinträchtigt. Andererseits können auch konkurrierende *fahraufgabenbezogene Tätigkeiten (driving-related tasks)*, etwa die Nutzung eines Navigationsgerätes oder die Reaktion auf unerwartet auftretende visuelle Warnmeldungen, zur Ablenkung führen (Pettitt, Burnett & Stevens, 2005; Regan et al., 2011). Weitere Klassifizierungsansätze aus der Literatur werden im Nachfolgenden beschrieben.

2.3.2 Klassifizierung von FFT

Ablenkungen während der Fahrt können aufgrund ihrer Vielfältigkeit nicht ganzheitlich erfasst werden und werden daher durch literaturgestützte Ansätze klassifiziert (Müller & Abendroth, 2018). Nach Pettitt et al. (2005) und Trezise et al. (2006) können diese auf *fahrzeugexternen Einflüssen* wie Werbetafeln, Verkehrsschilder, andere Verkehrsteilnehmer, Ereignisse wie Baustellen und Unfälle oder *fahrzeuginternen Einflüssen*, wie zum Beispiel Fehlermeldungen, Infotainment-Systeme, mobile Endgeräte und Passagieren beruhen.

Die *internen Einflüsse* können wiederum als *nicht technologiebasierte* wie Lebensmittelkonsum, Bücher lesen und eine Unterhaltung mit dem Beifahrer oder als *technologiebasierte Ablenkungen* klassifiziert werden (Trezise et al., 2006; K. Young, Rausch & Hammer, 2003).

Die *technologiebasierten Ablenkungen* lassen sich nach Cacilo et al. (2015) und B. Wolfers (2017) in *fahrzeugexterne Systeme*, beispielsweise die Nutzung portabler mobiler Endgeräte und *fahrzeuginterne Systeme*, wie die Benutzung von Apps auf fahrzeugintegrierten Bildschirmen unterteilen.

Interne Einflüsse können durch bestimmte Ziele des Fahrers bedingt sein und *fahrerinitiiert* ablaufen, zum Beispiel das Versenden von Textnachrichten oder eine Reaktion auf situativ bedingte Ereignisse. Sie können jedoch auch *nicht fahrerinitiiert* erfolgen, wie ein eingehender Telefonanruf. *Externe Einflüsse* sind meist *nicht fahrerinitiiert*, wie beispielsweise ein plötzlicher Wildwechsel (Huemer & Vollrath, 2012; Pettitt et al., 2005).

Darüber hinaus können Ablenkungen in *Dauer* und *Intensität* klassifiziert werden (Cacilo et al., 2015; B. Wolfers, 2017). Bei *kurzfristigen* und *weniger intensiven* Tätigkeiten liegt der primäre Fokus weiterhin auf dem Verkehrsgeschehen. Zum Beispiel ist das Telefonat per Freisprecheinrichtung weniger ablenkend als die *längerfristige* und *intensive* Bedienung eines mobilen Endgeräts.

Nach Chase (2014), European Commission (2015) und K. Young et al. (2003) wird eine physiologische Klassifizierung von Ablenkungen erstellt. Es wird nach *visuellen* (Blickabwendung von der Straße), *auditiven* (Musik hören), *biomechanischen / motorischen* (manuelle Lautstärkeregelung) und *kognitiven* (in Gedanken sein) Ablenkungen unterschieden, welche sich wechselseitig beeinflussen und in Kombination auftreten können.

2.3.3 Definition von FFT während hochautomatisierter Fahrt

An dieser Stelle wird noch einmal darauf hingewiesen, dass sich die vorgestellten Definitionen und Klassifikationen von Ablenkung und Unaufmerksamkeit vor allem auf Automationsgrade bis Level 2 beziehen. Laut Bubb (2002) können Tätigkeiten in primäre (das Halten des Fahrzeugs auf der Straße), in sekundäre (Tätigkeiten, die direkt und indirekt abhängig von der Fahraufgabe sind, wie das Betätigen des Blinkers) und in tertiäre Aufgaben (solche, die nicht mit der Fahraufgabe in Verbindung stehen) untergliedert werden. Die tertiären Aufgaben stehen im Konflikt mit der eigentlichen Fahraufgabe bei manueller Fahrt im sogenannten *dual-task*-Paradigma (Naujoks, Befelein & Neukum, 2016). Das hoch- und vollautomatisierte Fahren entbindet den Fahrer von der Pflicht der Fahrzeugführung und Verkehrsüberwachung, sodass die Ausführung komplexerer und langandauernder FFT ermöglicht wird, ohne dass eine unmittelbare Erhöhung des Unfallrisikos daraus hervorgeht. Die Ausführung von FFT in höheren Automationsstufen, anstelle der Betrachtung der zur Fahraufgabe konkurrierenden Nebentätigkeit, wird in der Literatur als *task-switching-paradigma* bezeichnet (Naujoks et al., 2016).

Die Ausführung von FFT bei hoch- und vollautomatisierten Fahrzeugen beschreiben Kun, Boll und Schmidt (2016, zitiert nach Pfleging, Rang & Broy, 2016, S. 91) als die Möglichkeit, dass “[...] “drivers” are able to perform a multitude of activities and can fully concentrate on those (e.g., writing text messages, playing a game)”.

Weiter beschreibt Pfleging (2015) sämtliche vom Fahrer ausgeführte Tätigkeiten und Aktivitäten, die nicht im Zusammenhang mit der Fahraufgabe stehen, als FFT. Beispiele hierfür sind das *Kommunizieren*

mit Beifahrern, essen, trinken sowie Tätigkeiten wie das *Lesen von Zeitschriften, Videos ansehen* oder sogar *zu schlafen*.

Im Zuge einer Machbarkeitsstudie der BAST zu dem Thema *Ablenkung durch fahrfremde Tätigkeiten* wurde der Begriff der FFT durch Huemer und Vollrath (2012, S. 19) wie folgt definiert: „Ablenkung durch fahrfremde Tätigkeiten entsteht, indem der Fahrer seine Aufmerksamkeit von der Fahraufgabe abwendet und zeitlich begrenzt auf ein Objekt, ein Ereignis oder eine Person richtet. Diese Tätigkeit kann durch bestimmte Ziele des Fahrers bedingt sein (z. B. eine CD einlegen), durch die Situation (z. B. einen Anruf annehmen oder etwas essen) oder als Reaktion auf unkontrollierte, zufällige Ereignisse (z. B. Bewegungen eines Kindes oder Tieres). Ausgeschlossen werden Beeinträchtigungen der Aufmerksamkeit, die durch einen eingeschränkten Fahrerzustand (Alkohol, Drogen, Müdigkeit) bedingt sind“.

Der deutsche Verkehrssicherheitsrat definiert fahrfremde Tätigkeiten als „Tätigkeiten, die nicht mit der Fahrzeugsteuerung durch die Fahrzeugführenden zu tun haben, insbesondere nicht mit der Längs- und Querverführung, der Fahrwegplanung, der Überwachung der Umgebung und der Reaktion darauf sowie dem Kommunizieren mit der Umwelt [...]“ (Deutscher Verkehrssicherheitsrat, 2018, S. 6).

Zusammenfassend wird für diese Arbeit der Begriff FFT als Tätigkeit angesehen, die von einer Person im automatisiert fahrenden Pkw durchgeführt wird, jedoch keinen direkten Bezug zum Fahrkontext und der Fahraufgabe hat.

2.3.4 Kenntnisstand zu FFT in der Literatur

In diesem Unterkapitel werden Erkenntnisse aus einer Literaturrecherche zusammengetragen. Hierbei werden einerseits Befragungsstudien und andererseits objektive Beobachterstudien zur Identifizierung von FFT herangezogen.

Spiessl und Hussmann (2011) untersuchten in einer Simulatorstudie den Einfluss von FFT auf die Fehlererkennung und die Reaktionsfähigkeit in einem automatisierten Fahrszenario. Die hier ausgeführten FFT waren *die Eingabe eines Ziels in ein Navigationssystem, die Auswahl eines Zieles auf einer interaktiven Karte, die Durchführung eines Telefonanrufs, das Anhören eines Audiobuches, das Lesen eines langen unstrukturierten Texts auf einem Display sowie das Lesen einer einzelnen Textzeile*.

Das Untersuchungsziel der Studie von Martin et al. (2016) war die Identifizierung von FFT anhand der visuellen Oberkörperhaltungsanalyse. Die Auswahl geeigneter FFT fiel hierbei auf die folgenden 14 Tätigkeiten: *SMS schreiben, Tablet benutzen, mit Beifahrer sprechen, ausruhen, Buch lesen, Makeup anbringen, mit Person auf Rückbank sprechen, telefonieren, ein Kaltgetränk trinken, ein Heißgetränk trinken, Essen mit einer/zwei Händen, Head Unit bedienen, Smartphone per Bluetooth mit dem Fahrzeug verbinden*.

Die Auswirkung unterschiedlicher Automationsstufen auf die Wahrnehmung sowie die Auswahl von FFT untersuchten Carsten et al. (2012). Während der durchgeführten Simulatorfahrt war es den Probanden freigestellt, sich entweder mit einer Auswahl von FFT wie beispielsweise *Spiele spielen, ein Magazin lesen, persönliche Hygiene-Tätigkeiten ausführen (z. B. Make-up auftragen), einen Snack essen, einen Film oder ein Fernsehprogramm auf DVD anschauen, ein Rätsel lösen (z. B. Kreuzworträtsel oder Sudoku) oder Radio zu hören* zu beschäftigen oder sich auf den Verkehr zu konzentrieren. Bei der abschließenden Auswertung der Ergebnisse zeigte sich, dass das Radiohören sowie das DVD-Schauen von den meisten Probanden während des automatisierten Fahrens gewählt wurde. Zudem konnte ein starker Anstieg der Bereitschaft zur Durchführung fahrfremder Tätigkeiten während des automatisierten Fahrens im Vergleich zum manuellen erkannt werden.

Pfleging et al. (2016) haben eine Onlineumfrage, eine Beobachtungsstudie in U-Bahnen sowie Interviews in Straßenbahnen durchgeführt um die Relevanz verschiedener FFT zu identifizieren. Die Autoren weisen darauf hin, dass im Vergleich zu einer Webumfrage, die Beobachtung von Aktivitäten und Interviews den Vorteil besitzen, im natürlichen Kontext durchgeführt werden zu können, welcher einen Einfluss auf die gegebenen Antworten haben kann.

Eine Befragung von Schoettle und Sivak (2014) wurde in China, Indien, Japan, USA, U.K., und Australien durchgeführt (N = 3.255). Dabei wurde festgestellt, dass zwischen den Nationen deutliche Unterschiede bei der Vorstellung möglicher Vorteile und Bedenken bestehen. Basierend auf den Antworten zeigt sich, dass die Nutzerakzeptanz auf dem chinesischen und indischen Markt höher ausfällt als in den anderen Nationen, die Teilnehmer jedoch selbst nicht in solchen Fahrzeugen fahren möchten. Weiter wurde nach der Meinung gefragt, welche Tätigkeiten die Befragten ausführen möchten, anstatt zu fahren. Die Auswahl bestand zwischen *Lesen, Kommunizieren, Schlafen, Film schauen, Arbeiten und Spiele spielen*.

Herrmann et al. (2016) haben in einer Studie 1.500 Teilnehmer aus Deutschland, Japan und den USA über ihre präferierte Ausübung von FFT während automatisierter Fahrt befragt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Befragten Tätigkeiten wie *Privatkommunikationen, Umgebungs- und Routeninformationen sowie Essen/Trinken* bevorzugen.

Eine Alternative zu Befragungen stellen objektive Methoden wie die naturalistischen Fahrstudien von Dingus et al. (2006) oder Stutts et al. (2005) dar. Hier wurden 109 bzw. 70 Fahrzeugnutzer in mit Kameras präparierten Fahrzeugen beobachtet. Die Häufigkeit von FFT sowie kritische Ereignisse wie Unfälle konnten in realen Fahrsituationen analysiert werden. Tätigkeiten wurden von Stutts, Reinfurt, Staplin und Rodgman (2001) wie folgt klassifiziert: *Essen und Trinken, Raucherbezogene Aufgaben, Kleidung und Körperpflege, Fahrzeuginterne Vorrichtungen (Spiegel einstellen), die Bedienung von mobilen Endgeräten, Passagierbezogene Aufgaben (Sprechen, Handgesten), jede andere im Fahrzeug ausgeführte*

Tätigkeit (Tierbezogen, Suchaufgaben, Lesen, Aufräumen), Selbstinitiierte Aufgaben (Singen) und Ablenkungen außerhalb des Fahrzeugs.

In einer weiteren Beobachtungsstudie untersuchen Huemer und Vollrath (2011) häufig ausgeführte FFT während der manuellen Fahrt. Beobachtet wurden die Tätigkeiten *telefonieren mit Telefon am Ohr, telefonieren mit Freisprecheinrichtung, Smartphonennutzung (schreiben, Apps, etc.)*, *essen, trinken* sowie *rauchen*. Hierbei konnte festgestellt werden, dass der Großteil der Ablenkungen des Fahrers auf das Smartphone zurückzuführen ist.

Auf Basis der in der Literatur gefundenen FFT wurde eine Tätigkeitsliste erstellt, die in dieser Arbeit als weitere Grundlage für die Auswahl relevanter FFT während hochautomatisierter Fahrt dient, siehe Tabelle 2-2. Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Liste keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt. Der Detaillierungsgrad der Elemente stellt ebenfalls eine Herausforderung dar. Aufgrund der hohen Anzahl möglicher FFT wurde für bestimmte Tätigkeiten die Zusammenfassung zu einem übergeordneten Item als sinnvoll angesehen.

Tabelle 2-2: Exemplarische Auflistung von naturalistischen FFT

Fahrfremde Tätigkeit	In Anlehnung an
Aus dem Fenster schauen (ohne Bezug zur Fahrt)	Dingus et al. (2006), Schoettle und Sivak (2014)
Bordcomputer oder Bedienelemente des Fahrzeugs bedienen (z. B. Sitzheizung, Klimaanlage)	Huemer und Vollrath (2012), Stutts et al. (2001), VDI (2016)
Essen	Huemer und Vollrath (2012), Pfleging et al. (2016)
Etwas lesen (Zeitung, Buch, Dokumente)	VDI (2016), Schoettle und Sivak (2014), Pfleging et al. (2016)
Etwas spielen	Herrmann et al. (2016), Carsten et al. (2012), Schoettle und Sivak (2014)
Filme oder Videos schauen	Herrmann et al. (2016), Schoettle und Sivak (2014)
Gegenstände im Fahrzeug suchen	Huemer und Vollrath (2012), Stutts et al. (2001)
Im Internet oder sozialen Medien surfen	Pfleging et al. (2016)
Kleidung wechseln oder an-/ausziehen	Herrmann et al. (2016), Huemer und Vollrath (2012)
Künstlerische Tätigkeiten	Herrmann et al. (2016), Huemer und Vollrath (2012)
Kurznachrichten oder E-Mails am Smartphone lesen/schreiben	Herrmann et al. (2016), Dingus et al. (2006), VDI (2016), Pfleging et al. (2016), Huemer und Vollrath (2011), Schoettle und Sivak (2014)
Mit dem Beifahrer interagieren	Stutts et al. (2001), VDI (2016)
Musik oder Radio hören	Spiessl und Hussmann (2011), Pfleging et al. (2016)
Navigationssystem bedienen	Spiessl und Hussmann (2011), VDI (2016)
Persönliche Hygiene	Huemer und Vollrath (2012), VDI (2016), Pfleging et al. (2016)
Rauchen	Huemer und Vollrath (2012), Stutts et al. (2001)
Schlafen / Ausruhen	Schoettle und Sivak (2014), Pfleging et al. (2016)
Tablet oder Computer bedienen	Huemer und Vollrath (2012), Stutts et al. (2001), VDI (2016)
Telefonieren	Stutts et al. (2001), Spiessl und Hussmann (2011)
Trinken	Huemer und Vollrath (2012), Pfleging et al. (2016)
Über etwas nachdenken	Huemer und Vollrath (2012), Stutts et al. (2001)

2.4 Belastung und Beanspruchung

Um die menschliche Informationsverarbeitung bewerten zu können, bietet sich die mentale Beanspruchung an. Um den Begriff der Beanspruchung zu verstehen wird im Folgenden das Belastungs-Beanspruchungskonzept (BBK) vorgestellt.

Ein simpler Ansatz, um das einfache BBK zu erklären ist das Ursache-Wirkung-Prinzip. Die Belastungen sind im allgemeinen Ursachen, die unabhängig vom Menschen vorliegen. Diese Belastungen wirken auf den Menschen ein. Darauf reagiert der Mensch in Form einer messbaren individuellen Beanspruchung. Die Belastung kann einerseits in aufgabenspezifische und andererseits in situationsspezifische Teilbelastungen unterteilt werden. Erstgenannte können weiter in energetische (wie statische und dynamische Muskelarbeit) und informatorische Arbeit (vgl. Informationsverarbeitung Kapitel 2.1) unterteilt werden. Situationsspezifische Teilbelastungen können weiter in physikalische (beispielsweise Beleuchtung, Klima, Lärm oder Schwingungen), chemische (beispielsweise Gefahrenstoffe) sowie soziale Umgebung (beispielsweise Kollegen, Vorgesetzte und Betriebsklima) unterteilt werden. Die genannten Einzelbelastungen können sich nach Landau und Rohmert (1987) einerseits sukzessiv als auch andererseits simultan mittels dem Superpositionprinzip in eine Gesamtbelastung zusammengefasst werden können. Somit haben die Teilbelastungen auch in ihrer Belastungsdauer und -intensität einen Einfluss auf die Beanspruchung.

Aus dem deutschsprachigen Raum ermöglicht das erweiterte BBK (nach Luczak, 1975, modifiziert von Rohmert, 1984) die Analysemöglichkeit und Interpretation von Tätigkeiten, siehe Abbildung 2-9.

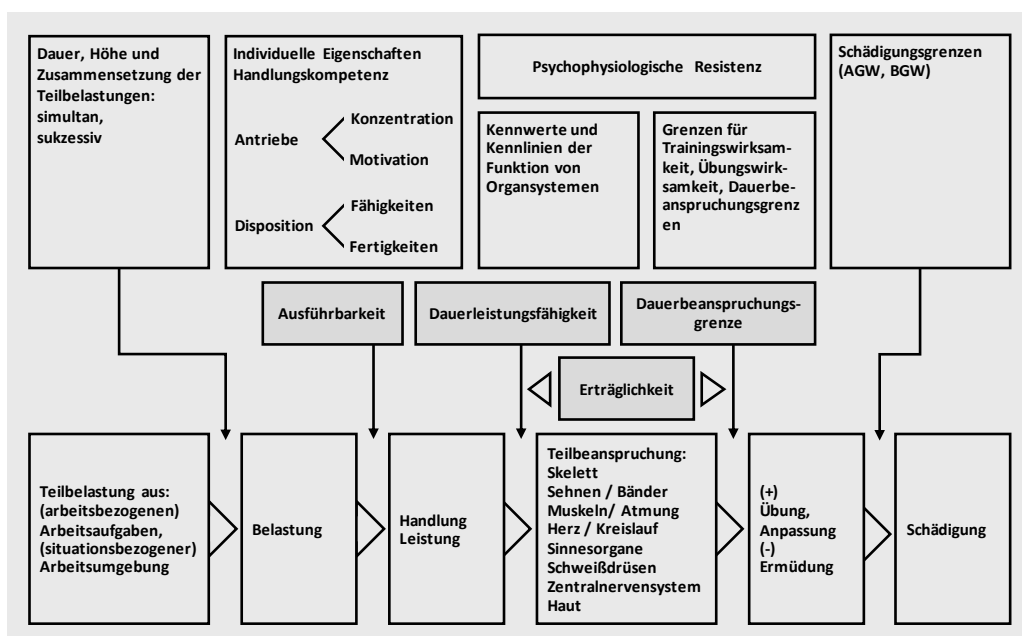


Abbildung 2-9: Das erweiterte Belastungs-Beanspruchungs-Konzept nach Luczak (1975, modifiziert von Rohmert, 1984), Rückkopplungen weggelassen

Nach dem Modell gibt es im Allgemeinen Bedingungen einer Arbeit, die in objektiven Anforderungen münden, die durch Belastungen beschrieben werden können. Dabei wirken individuelle Eigenschaften

sowie Bedürfnisse und Motivationen der Person ein. Aus den Belastungen ergibt sich eine Handlung, welche einerseits aktiv agierend oder passiv reagierend sein kann. Daraus folgt eine messbare Leistung, die in individuellen Beanspruchungen resultiert und als Beanspruchungsfolge positiv in Training und Erfahrung oder negativ in Ermüdung und Schäden enden kann. Diese Beanspruchungsfolgen wirken rückwirkend auf die individuellen Eigenschaften der Person ein und können so beispielsweise Strategiewechsel hervorheben. Demnach kann es trotz gleicher Belastung zu unterschiedlichen Beanspruchungen kommen. Resultierend liegt im erweiterten BBK im Vergleich zum einfachen BBK einerseits die Handlungskompetenz und andererseits die Rückführung vor.

Nach DIN EN ISO 10075 (2017, S. 9) wird die psychische Beanspruchung beschrieben als die „[...] Gesamtheit aller erfassbaren Einflüsse, die von außen auf den Menschen zukommen und psychisch auf ihn einwirken“. Die psychische Beanspruchung ist „[...] die unmittelbare (nicht die langfristige) Auswirkung der psychischen Belastung im Individuum in Abhängigkeit von seinen jeweiligen überdauernden und augenblicklichen Voraussetzungen, einschließlich der individuellen Bewältigungsstrategien“.

Emotionale und mentale Beanspruchung wird nach Ribback (2003) als psychische Beanspruchung zusammengefasst. Weiter wird die emotionale Beanspruchung oft im direkten Zusammenhang mit Gefühlen gesehen (Ribback, 2003). Die mentale Beanspruchung hingegen beschreibt die kognitive Reaktion des menschlichen Informationsverarbeitungssystems auf die informatorischen Anteile der Belastung (Packebusch, 2003; Ribback, 2003).

Aus den genannten Definitionen kann zusammengefasst werden, dass die auf den Menschen einwirkenden Belastungen in einer Beanspruchung resultieren. Die einwirkenden Belastungen können in aufgabenspezifische und situationsspezifische Teilbelastungen voneinander unterschieden werden. Die Teilbelastungen setzen sich in eine Gesamtbelastung zusammen und verursachen eine messbare Beanspruchung beim Menschen. Die Beanspruchung ist somit die Auswirkung bzw. Reaktion des Menschen auf äußere Belastungsfaktoren. Sie kann in die *physische, emotionale und mentale* Beanspruchung unterteilt werden.

Bei den englischsprachigen Begriffsdefinitionen von Belastung und Beanspruchung wird in Landau (2005) die Belastung als Workload oder Stress und Beanspruchung als Strain übersetzt. In der praktischen Anwendung können diese jedoch nicht eins zu eins übersetzt werden, da es sich um zwei verschiedene Konzepte handelt (vgl. Buld, Will, Kaussner & Krüger, 2014). Weiter findet sich in Ribback (2003) die Definition, dass durch den Task-Load, welcher als Aufgabenanforderung übersetzt wird, der Workload entsteht. Der Begriff Workload wird verwendet, um die Auswirkungen von Aufgaben auf die messbare Leistung zu beschreiben. Nach Buld et al. (2014) wird ähnlich wie beim BBK die Leistung einer Aufgabe von individuellen Einflüssen (wie beispielsweise Umweltfaktoren, Fahreigenschaften und Fahrerzustand) moderiert und führt demnach ebenfalls zu einem individuellen Workload, siehe Abbildung 2-10.

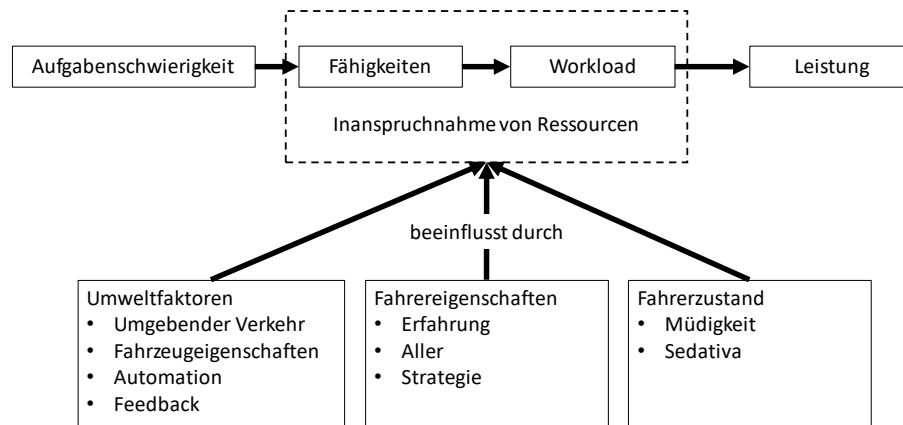


Abbildung 2-10: Workload als Prozessmerkmal (Mediator) der Aufgabenbewältigung in Anlehnung an Buld et al. (2014)

Ferner wird der Workload von O'Donnell und Eggemeier (1986, S. 42-2) als „portion of the operator's limited capacity that is actually required to perform a particular task“ beschrieben. Nach DeWaard (1996, S. 15) wird Workload als „[...] the specification of the amount of information processing capacity that is used for task performance“ verstanden werden. M. S. Young, Brookhuis, Wickens und Hancock (2015, S. 1) verwenden den Begriff Workload um Antworten auf Fragen wie z.B.: „How busy is the operator?“, „How complex are the tasks that the operator is required to perform?“, „Can any additional tasks be handled above and beyond those that are already imposed?“ zu erhalten. Wickens (2002) definiert Workload als das Verhältnis zwischen den durch eine Aufgabe belasteten und den dem Handelnden zur Verfügung stehenden Ressourcen.

Ein Unterschied zwischen den Konzepten besteht im Einbeziehen der Informationsverarbeitungsressourcen (vgl. Kapitel 2.1.3) beim Workloadkonzept sowie der Verlagerung der Umwelteinflüsse als moderierende Effekte auf den Workload statt als Belastungsgröße im BBK. Da die Beanspruchung und der Workload abhängig von der Aufgabenschwierigkeit und den moderierenden Einflussfaktoren sind, werden in der Literatur die Beanspruchungsmessung und Workload-Messungen häufig als Synonym benutzt.

2.5 Situationsbewusstsein

Der Begriff Situationsbewusstsein (englisch: Situation-Awareness, SA) bezeichnet den Zustand, sich seiner Umgebung bewusst zu sein. Die Herkunft des Begriffs stammt nach Spick (1988 zitiert nach Endsley, 2000) aus dem militärischen Bereich und findet heutzutage vor allem in dynamischen, informatorischen und technologischen Bereichen Anwendung. Das Wissen darüber, was in der Umgebung vor sich geht und was als nächstes passieren wird, wird nach Gawron (2008) durch das Situationsbewusstsein beschrieben und kann so zu einer verbesserten Entscheidungsfindung führen. Auch die steigende Komplexität verschiedener Systeme hat Forscher dazu veranlasst nach neuen methodischen Bewertungsverfahren zu suchen. Die Messung des Situationsbewusstseins liefert einen dafür nützlichen Index zur Bewertung von Mensch-Maschine-Schnittstellen.

Laut Stanton, Chambers und Piggott (2001) dominieren drei Definitionen und die damit verbundenen theoretischen Sichtweisen. Bei diesen handelt es sich um das Wahrnehmungszyklus-Modell von Hancock und Smith (1995), das Aktivitäts-Theorie-Modell von Bedny und Meister (1999) und das Drei-Stufen-Kognition-Modell von Endsley (1995). Weitere Definitionen zum Situationsbewusstsein können in Dominguez (1994) nachgeschlagen werden.

Hancock und Smith (1995, S. 138) definieren das Situationsbewusstsein als: „[...] the invariant in the agent-environment system that generates the momentary knowledge and behavior required to attain the goals specified by an arbiter of performance in the environment“. Das nach außen gerichtete Bewusstsein ist durch entsprechendes Nutzerverhalten in der Lage, Wissen zu generieren. Bei dem Situationsbewusstsein handelt es sich demnach um die Kenntnis über die Umwelt, um im Handlungsfall qualitativ gute Reaktionen ausführen zu können.

Bedny und Meister (1999, S. 65) beschreiben das Situationsbewusstsein als: „[...] one important functional mechanism of reflective-oriental activity, which provides a conscious and dynamic orientation in the situation“. Die Aktivitätstheorie hat das Ziel die Prozesse innerhalb des Menschen mit einem systemtheoretischen Ansatz darzustellen und somit das Situationsbewusstsein zu erklären.

Eine verbreitete Definition vom Situationsbewusstsein stammt von Endsley (1988b, S. 792): „[...] the perception of the elements in the environment within a volume of time and space, the comprehension of their meaning, and the projection of their status in the near future“. Das Situationsbewusstsein wird daher als die Wahrnehmung aller in einer Situation enthaltenen Elemente, das Verständnis deren Bedeutung sowie deren Projektion in die nahe Zukunft beschrieben. Endsley (1995) legt einen sequentiellen Prozess mit definierten Zuständen zur Beschreibung des Situationsbewusstseins zugrunde. Analog zur menschlichen Informationsverarbeitung (vgl. Kapitel 2.1) stellt die lineare Anordnung der Elemente den zeitlichen Ablauf des Verarbeitungsprozesses dar, siehe Abbildung 2-11.

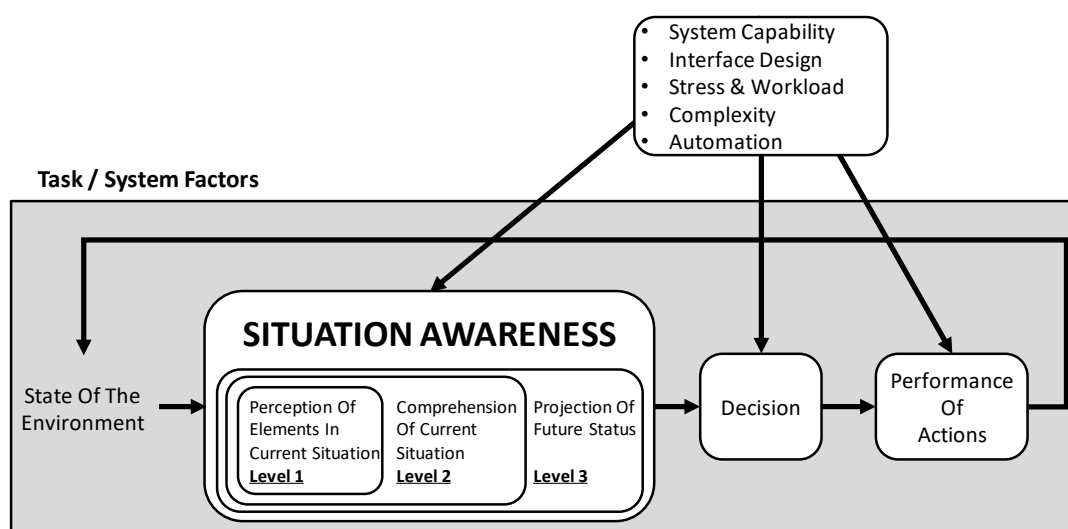


Abbildung 2-11: Auszug des Situationsbewusstseinsmodell nach Endsley (1995)

In dem Modell ist zu erkennen, dass das Situationsbewusstsein in mehrere Stufen einteilbar ist und eine von der Entscheidungsfindung und Handlungsausführung getrennte Phase darstellt. In der ersten Ebene werden die relevanten Elemente einer Situation wahrgenommen (*z.B. übertragen auf den Straßenverkehr das Blinken anderer Fahrzeuge*). In Ebene 2 werden diese Elemente mental zusammengefasst, wodurch ein Situationsverständnis entsteht (*andere Fahrzeuge wollen Abbiegen*). Auf der dritten Ebene findet schließlich die Antizipation von zukünftigen, aber auch aktuellen Geschehnissen statt (*Fahrzeuge werden Geschwindigkeit reduzieren*). In dynamischen Situationen wie dem Straßenverkehr spielen das Antizipieren von Ereignissen sowie eine entsprechende Handlungsauswahl eine wichtige Rolle und sind insbesondere in Übernahmesituationen während hochautomatisierter Fahrt von entscheidender Bedeutung.

Weiter stellt sich die Frage wie das Situationsbewusstsein aufgebaut werden kann. Nach Endsley (2000b) kann das Situationsbewusstsein aus allen Wahrnehmungsmodalitäten generiert werden. Ergänzend zu den direkt wahrgenommenen Informationen findet ein Abgleich mit Informationen aus dem Gedächtnis statt, der die Genauigkeit und Vollständigkeit des Situationsbewusstseins beeinflusst. Sollte nur ein geringes Situationsbewusstsein vorliegen, muss geklärt werden wie lange es dauert bis das Situationsbewusstsein weiter aufgebaut werden kann, um letztlich dadurch eine bessere Leistung zu erreichen.

Sarter und Woods (1991) führen ferner auf, dass auch mentale Modelle, die durch Erfahrungen und Verständnis entstehen, eine Voraussetzung für das Situationsbewusstsein darstellen. Auch Mogford (1997) setzt mentale Modelle mit dem Situationsbewusstsein in Beziehung und legt ein mentales Modell als das zugrundeliegende Wissen für den Aufbau des Situationsbewusstseins voraus. Auf das mentale Modell kann demnach die Aufmerksamkeit gerichtet werden, was förderlich für das Situationsbewusstsein ist. Für den Aufbau eines Situationsbewusstseins müssen daher Informationen aufgenommen, mit anderen Informationen verglichen und in die Zukunft projiziert werden.

Die Festlegung, welche Aspekte der Situation zu einem Situationsbewusstsein verarbeitet werden, ist von den Aufmerksamkeitsressourcen abhängig. So stellte Gugerty (1997) in einer Untersuchung fest, dass Testpersonen weiteren Verkehrsteilnehmenden vor und in der Nähe des eigenen Fahrzeugs mehr Aufmerksamkeit schenken, als den weiter entfernt befindlichen Fahrzeugen.

Gründe, warum kein ausreichendes Situationsbewusstsein aufgebaut werden kann, sind nach Endsley und Jones (1996), dass trotz dem Vorhandensein aller erforderlichen Informationen, diese nicht beachtet wurden. Auch Adams, Pew und Tenney (1995) berichten, dass selbst Nutzer mit ausreichend vielen angebotenen Informationen an eine Informationsverarbeitungsgrenze stoßen. In diesem Zusammenhang ist im Modell (vgl. Abbildung 2-11) zu erkennen, dass das Situationsbewusstsein durch weitere Konstrukte, wie beispielsweise die Komplexität, die Schnittstellengestaltung und auch die Beanspruchung, moderiert wird.

Der Zusammenhang zur Beanspruchung kann durch die ressourcenintensive Aufrechterhaltung des Situationsbewusstseins hergestellt werden. Nach Taylor (1990) ist die Berücksichtigung der Aufmerksamkeitsressourcen eine Voraussetzung für das Situationsbewusstsein. So kann einerseits kein Situationsbewusstsein erlangt werden ohne Ressourcen aufzuwenden, was möglicherweise wiederum mit anderen gleichzeitig stattfindenden kognitiven Aufgaben konkurrieren kann, und andererseits kann eine hohe mentale Beanspruchung die Aufrechterhaltung des Situationsbewusstseins reduzieren. Außerdem stellt sich ein Zusammenhang zwischen Situationsbewusstsein und mentaler Beanspruchung durch Lerneffekte ein. So führen Automatismen zu einer guten Leistung bei einem geringen Aufmerksamkeitsbedarf. Daher können diese Automatismen das Situationsbewusstsein positiv beeinflussen, indem der Bedarf der begrenzt vorliegenden Aufmerksamkeitsressourcen reduziert wird. Eine erfahrene Person kann ein ausreichendes Situationsbewusstsein mit niedrigerem Ressourcenaufwand erreichen, wenn sie zum Beispiel ein mentales Modell entwickelt hat, das bei der Antizipation hilft (Durso & Gronlund, 2008). Das Situationsbewusstsein kann jedoch auch durch Automatismen negativ beeinflusst werden, da Menschen unter hohem Trainingseinfluss dazu neigen, nicht empfänglich für neuartige Ereignisse zu sein und so die Reaktionsfähigkeit abnimmt. Im Zusammenhang mit Automation gibt es eine Vielzahl empirischer Studien, die die Wichtigkeit des Situationsbewusstseins unterstreichen (vgl. Parasuraman et al., 2008).

In Bezug auf die Leistung benötigen Personen mehr Zeit für die Rückübernahme der manuellen Handlungsausführung, im Vergleich zu denen, die bereits über ein ausreichendes Situationsbewusstsein verfügen, da sie zuerst den aktuellen Status erfassen müssen.

So erschließt sich beispielsweise einer Person mit geringem Situationsbewusstsein nicht, warum ein Ereignis durch äußere Einflüsse entsteht. Für eine schnelle Handlungsentscheidung ist es daher essenziell, dass der Mensch ein Bewusstsein dafür hat, was in der jeweiligen Situation passiert, damit die Aufgaben, die er ausführt und der Kontext, in dem er interagiert, verstanden werden können. Ein hohes Situationsbewusstsein sollte die Wahrscheinlichkeit guter Entscheidungen und guter Leistungen erhöhen. Umgekehrt erhöht ein niedriges Situationsbewusstsein die Wahrscheinlichkeit einer unzureichenden Leistung. In diesem Zusammenhang stellt Endsley (2000b) außerdem fest, dass kein fester Wert für das Situationsbewusstsein existiert, der ein bestimmtes Leistungsniveau garantiert. Es ist jedoch davon auszugehen, dass bei einer hohen Situationsbewusstseinsausprägung auch die Wahrscheinlichkeit steigt, gute Entscheidungen zu treffen und gute Leistungen zu erbringen.

Darüber hinaus ist wichtig festzuhalten, dass das Situationsbewusstsein und die Beanspruchung, obwohl sie unter bestimmten Umständen miteinander in Verbindung stehen, separate Konstrukte sind und unabhängig voneinander gemessen werden sollten. So kann eine Tätigkeit das Situationsbewusstsein verbessern oder reduzieren, während die Beanspruchung unverändert bleibt, was wiederum bedeutet, dass der Nutzer bei gleichem Aufwand mehr oder weniger Situationsbewusstsein erhält.

Resümierend lässt sich sagen, dass ein stetiger Abgleich mit der aktuellen Situation erforderlich ist, um ein ausreichendes Situationsbewusstsein zu schaffen und aufrechtzuerhalten. Das Situationsbewusstsein wird daher als Bereitstellungsfaktor für die Entscheidungsfindung und kann somit als Leistungsparameter angesehen werden.

2.6 Aktueller Forschungsstand zur Rückübernahmefähigkeit

Nachdem die Grundlagen zur menschlichen Informationsverarbeitung, dem automatisierten Fahren und FFT erläutert wurden, werden in diesem Unterkapitel vorhandene Studien und Forschungsergebnisse zusammengetragen, die vergleichbare Aspekte des zugrundeliegenden Forschungsvorhabens behandeln.

Bereits erste Studien haben einen Tätigkeitenwandel in Folge der Automatisierung feststellen können. In einer Studie von Winter et al. (2014) lag die Anzahl der bearbeiteten FFT während der Nutzung von assistierten Automatisierungssystemen (SAE Level 1) durchschnittlich um 12 % höher gegenüber denen bei manueller Fahrt. Während einer hochautomatisierten Fahrt war diese sogar um das 2,6-fache erhöht. Weitere empirische Studien weisen darauf hin, dass die Zuwendung zu FFT während der Fahrt mit steigendem Automationsgrad zunimmt (Carsten et al., 2012; Jamson, Merat, Carsten & Lai, 2013; Llaneras, Salinger & Green, 2013).

Fraedrich, Cyganski, Wolf und Lenz (2016) führten eine internetbasierte Umfrage durch, bei der die Teilnehmer (N = 1.000) angaben, dass sie hauptsächlich die hochautomatisierte Fahrzeit mit *Fensterblick*, *Fahrgastgesprächen* und *Entspannung* nutzen würden. In einer weiteren Online-Umfrage von Kyriakidis, Happee und Winter (2015) bewerteten die Teilnehmer (N = 5.000) ihre Nutzungsbereitschaft bei manueller und automatisierter Fahrweisen mit vordefinierten FFT. Dabei zeigte sich während hochautomatisierter Fahrt eine erhöhte Motivation (im Vergleich zum manuellen und teilautomatisierten Fahren), sich mit FFT zu beschäftigen. Zusätzlich konnte herausgefunden werden, dass bei manueller und teilautomatisierter Fahrt die parallele Ausführung einer FFT einen negativen Einfluss auf die Fahrleistung hat.

Die menschenbezogenen Forschungsarbeiten zum hochautomatisierten Fahren beschäftigen sich vor allem mit der Frage, wie viel Zeit der Fahrer benötigt, um wieder in die Fahrzeugführung einzugreifen. Nach einer Metastudie von Zhang, Winter, Varotto, Happee und Martens (2019) konnten auf Basis von 129 untersuchten Studien Einflussfaktoren auf die Übernahmezeit bestimmt werden. Weitere Analysen bisheriger Studien zur Übernahme nach einer hochautomatisierten Fahrt werden von Vogelpohl, Vollrath, Kühn, Hummel und Gehlert (2016) und Walch et al. (2017) bereitgestellt. Bei den genannten Literaturübersichten werden Einflussfaktoren wie die *Dringlichkeit*, *Umgebungsfaktoren* (u.a. die *Komplexität der Verkehrssituation*) und der *Einfluss von FFT* besonders hervorgehoben. Zum weiteren Erkenntnisgewinn werden daher nachfolgend die Ergebnisse von Forschungsstudien beschrieben.

Dringlichkeit

Zahlreiche Studien haben die Dringlichkeit einer Übernahme-situation in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden Zeit bis eine Kollision droht (in dem Kontext auch Zeitbudget oder Time-to-Collision (TTC) genannt) untersucht.

Damböck, Farid, Tönert und Bengler (2012) untersuchten verschiedene Zeitbudgets und stellten dabei fest, dass bei kritischeren Übernahme-situationen (geringeres Zeitbudget) die Reaktionszeiten schneller waren, als bei großzügigeren Zeitfenstern. Während der hochautomatisierten Fahrt auf der Autobahn wurden die Probanden mit einer sowohl visuell als auch kognitiv und manuell beanspruchenden FFT belastet. Die Autoren stellten dabei fest, dass sich ab einem Zeitbudget von 6 bis 8 s keine Unterschiede mehr in der Fehlerhäufigkeit ergeben.

In der Fahrsimulatorstudie von Gold et al. (2013) stellte sich heraus, dass je weniger Zeit bis zur drohenden Kollision mit einem stationären Objekt (5 s vs. 7 s) zur Verfügung steht, desto schneller reagieren die Versuchsteilnehmende. Zusätzlich sind von Radlmayr und Bengler (2015) die Auswirkungen des Übernahmezeitbudgets untersucht worden. Längere Zeitbudgets führen auch hier zu längeren Übernahmezeiten und korrelieren mit einer besseren Übernahmequalität. In der Übersicht von Eriksson und Stanton (2017) werden insgesamt 25 Studien mit den jeweiligen Zeitbudgets zusammengefasst. Dabei stellten die Autoren fest, dass 3 s, 4 s, 6 s und 7 s die am häufigsten verwendeten Zeitbudgets sind.

Komplexität der Verkehrssituation

Die Umweltfaktoren, speziell die Komplexität der Verkehrssituation, wurde bei Radlmayr, Gold, Lorenz, Farid und Bengler (2014) sowie bei Gold, Körber, Lechner und Bengler (2016) untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass eine komplexere Verkehrslage zu längeren Übernahmezeiten führt. Dieser negative Effekt konnte in Shen und Neyens (2014) jedoch nicht gefunden werden.

Alter

Der Einfluss des Alters wird unter anderem in Körber, Gold, Lechner und Bengler (2016) sowie in Petermann-Stock et al. (2013) untersucht. Dabei ergaben sich Unterschiede in Hinblick darauf, dass ältere Personen längere Rückübernahmezeiten im direkten Vergleich zu einer jüngeren Kontrollgruppe zeigen.

Aufgabenschwierigkeit von fahrfremden Tätigkeiten

Zur Untersuchung im Fahrkontext existieren in der Literatur des Weiteren die Einteilung in standardisierte und naturalistischere FFT. Standardisierte Techniken, welche naturalistischere FFT imitieren sollen, sind beispielsweise der kognitiv belastende n-Back Task (Kirchner, 1958) oder die visuelle Suchaufgabe SuRT nach DIN ISO/TS 14198 (2019). Je nach experimentellem Zweck kann auf kognitiver, visueller und motorischer Basis oder in Kombination eine Aufgabenbelastung erzeugt werden

(Gold, Berisha & Bengler, 2015). Eine Auflistung über standardisierte und naturalistischere FFT-Studien im Kontext verschiedener Automatisierungsstufen kann in Naujoks, Befelein, Wiedemann und Neukum (2018) nachgeschlagen werden. Standardisierte Tests verfügen nach Trautner (1997) über Vorteile wie eine bessere Vergleichs- und Wiederholmöglichkeit. Als Nachteil standardisierter Tests kann die fehlende Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Realität angesehen werden. Ebenso ist die Motivation der Aufgabenausführung bei naturalistischeren FFT vermeintlich höher als bei standardisierten Tätigkeiten, was die Übernahmezeit verlängern kann.

Standardisierte FFT

In Feldhütter, Gold, Schnieder und Bengler (2017) führten Probanden den visuell ablenkenden SuRT aus und benötigten mehr Zeit für eine Übernahme als Fahrer ohne FFT. Studien von Gold et al. (2013) und Lorenz, Kerschbaum und Schumann (2014) setzten ebenfalls den SuRT als ablenkende Tätigkeit ein und lieferten ähnliche Ergebnisse. Die Frage, welche Auswirkungen verschiedene FFT auf die Übernahmefähigkeit haben, verglichen Radlmayr et al. (2014) mittels SuRT und einem n-back-Test. Es zeigten sich bei den beiden FFT keine signifikanten Unterschiede im Fahrverhalten während der Übernahmesituation. In der Studie von Körber et al. (2016) wurde ein standardisiertes Quiz ausgeführt. Dabei reagierten die Probanden nicht signifikant unterschiedlich im Vergleich zu einer Kontrollgruppe ohne zusätzliche Tätigkeit. Nach der Übernahme wiesen sie jedoch einen geringeren zeitlichen Abstand zu einem Hindernis auf.

Naturalistische FFT

Andere Studien konzentrierten sich auf naturalistischere Aufgaben wie das Lesen von Nachrichtenartikeln (Naujoks, Mai & Neukum, 2014).

Petermann-Stock et al. (2013) untersuchten unterschiedlich belastende FFT während hochautomatisierter Fahrt. Mehrere Versionen eines Quizspiels wurden dafür in ein Experiment implementiert, um eine steigende Arbeitsbelastung zu simulieren. In allen Varianten wurde die Frage auditiv abgespielt, die Antwortoptionen jedoch wurden unterschiedlich dargestellt (akustisch oder visuell). Auch die Antwortmodalitäten wurden variiert (verbal oder motorisch). Die größte Übernahmefähigkeitsbeeinträchtigung wurde für die Variante festgestellt, die eine Kombination aus akustischer, kognitiver, visueller und motorischer Belastung beinhaltete.

In einer Studie von Vogelpohl et al. (2016) führten die Teilnehmer auf einem Tablet zwei FFT aus (Lesen eines Zeitungsartikels, Tetris-Spiel) und verglichen beide FFT mit einer Baselinefahrt. Im Vergleich zu einer Kontrollgruppe waren die Übernahmezeiten für beide FFT signifikant länger. Der Vergleich unter den FFT ergab keinen signifikanten Unterschied.

Den Einfluss unterschiedlicher Schreibtätigkeiten an einem mobilen Endgerät (Texting) auf die Übernahmequalität während hochautomatisierter Fahrt untersuchten Wandtner, Schömig und Schmidt

(2018). Hier zeigte sich, dass die verschiedenen Aufgabenmodalitäten einen Einfluss auf die Übernahme haben. Eine motorisch-visuelle Aufgabe (Texting) zeigt im Gegensatz zu anderen FFT (visuell-verbal) sowie bei der Fahrt ohne FFT schlechtere Reaktionszeiten.

In Gold und Körber et al. (2016) und in Louw, Merat und Jamson (2015) fanden sich im Gegensatz zu den eben genannten Ergebnissen keine signifikanten Unterschiede zwischen abgelenkten und nicht abgelenkten Fahrern. Zeeb, Buchner und Schrauf (2016) untersuchten ebenfalls den Einfluss naturalistischer FFT (eMail schreiben, News lesen und Video schauen) auf die Übernahmeleistung. Daraus ergaben sich keine signifikanten Auswirkungen auf die Reaktionszeiten (Hand ans Lenkrad) innerhalb der untersuchten FFT.

Eine weiterführende Übersicht zu unterschiedlichen FFT bei verschiedenen Automationsstufen wird in Naujoks et al. (2016) vorgestellt.

Unterforderung / Ermüdung

Bei Neubauer, Matthews und Saxby (2012) wurden beispielsweise sogar positive Effekte durch ein Telefonat identifiziert. Die Nutzung eines Mobiltelefons führte im Fall eines plötzlich einscherenden Vorderfahrzeugs bei manueller Fahrt zu verlängerten Reaktionszeiten, während der automatisierten Fahrt verkürzte sich diese jedoch. Die Autoren erklären dies mit einer verringerten Monotonie durch die zusätzliche Beschäftigung des Fahrers.

In Körber, Cingel, Zimmermann und Bengler (2015) konnte während des automatisierten Fahrens ohne zusätzliche Tätigkeit eine zunehmende Ermüdung des Fahrers festgestellt werden. Auch M. S. Young und Stanton (2002) gehen davon aus, dass eine kognitive Unterforderung durch Automation ebenso gefährlich sein kann, wie eine zu hohe Beanspruchung. Weiter zeigte sich bei Gershon, Ronen, Oron-Gilad und Shinar (2009) und Bier (2019) dass bei manueller Fahrt durch die Ausführung einer beanspruchenden FFT die Fahrleistung während einer monotonen Fahrt gesteigert sowie die Müdigkeit gesenkt werden kann.

Gestaltung der RÜA

Eine RÜA beabsichtigt, eine zeitlich angemessene Reaktion des Fahrers zu erzeugen. Folglich muss der Fahrer diese Aufforderung explizit wahrnehmen und auch die Gestaltung dieser hat einen Einfluss auf die Rückübernahmefähigkeit. Naujoks et al. (2014) untersuchten die Auswirkungen von visuell-auditiven im Vergleich zu nur visuellen RÜA. Es zeigte sich, dass die Reaktionszeit „Hände am Lenkrad“ nach einer visuell-auditiven RÜA signifikant kürzer ist. In einer Studie von Petermeijer et al. (2016) wurde ein positiver Effekt einer vibrotaktilen im Vergleich zu einer auditiven RÜA identifiziert. Die Ergebnisse zeigen weiter, dass bei einer kombinierten RÜA der Lenkeingriff nach automatisierter Fahrt am schnellsten durchgeführt werden kann. Die Ausweichrichtung nach einer RÜA ist unabhängig davon, ob der Warnton und/oder die Vibration von links oder rechts abgespielt wurde. Petermeijer et al. (2017)

untersuchten die Wirkung verschiedener Variationsmuster einer vibrotaktilen RÜA. Die Reaktionszeiten waren schneller, wenn die Vibrationen über die gesamte Sitz- und Rückfläche wahrgenommen wurden. Auch Telpaz, Rhindress, Zelman und Tsimhoni (2017) führten ebenfalls Experimente mit einer vibrotaktilen RÜA durch. Auch hier stellte sich heraus, dass die Reaktionszeiten mit taktiler Darbietung im Vergleich zu einer rein akustischen RÜA schneller waren. Müller, Ogrizek, Bier und Abendroth (2018) stellten fest, dass die alleinige Verwendung einer Sitzvibration nicht als RÜA aufgefasst wurde. Weiter berichten sie, dass eine multimodale RÜA im Vergleich zu einer bloßen visuellen oder alleinigen taktilen zu den schnellsten Reaktionen führt.

Situationsbewusstsein

In verschiedenen Studien wurde bereits der Einfluss von FFT bei manueller Fahrzeugführung mittels SAGAT-Methode untersucht. In Kaber und Ma (2005), Parkes, Hooijmeijer, Diepens und Okkema (2001) und Strayer, Cooper und Drews (2004) reduzierte sich das Situationsbewusstsein signifikant, wenn während der Fahrzeugführung noch telefoniert wird.

Bei manueller Fahrt untersuchten Blalock et al. (2014) das Situationsbewusstsein und berichten, dass Probanden, die während manueller Fahrt eine Zählaufgabe ausführten im Vergleich zu einer Kontrollgruppe weniger genau in der Lage dazu waren, Details über ihre Umgebung wiederzugeben. Strayer und Fisher (2016) berichten, dass Fahrer die mental beanspruchende Tätigkeiten ausführen, besonders schlecht darin sind, das Fahrumfeld zu bewerten und zukünftige Ereignisse vorherzusagen. Ähnliches konnten auch Rogers, Zhang, Kaber, Liang und Gangakhedkar (2011) beim Verständnis und der Antizipation feststellen, wenn der Fahrzeugführer durch eine FFT (visuell und kognitiv) abgelenkt wurde.

Lu, Coster und Winter (2017) untersuchten bei automatisierter Fahrt wie lange der Fahrer benötigt, um ein Situationsbewusstsein aufzubauen. Hierfür wurden den Personen animierte Videos mit einer Länge von 1 s, 3 s, 7 s, 9 s, 12 s und 20 s gezeigt, bevor der Bildschirm geschwärzt wurde. Hierbei wurden keine zusätzlichen FFT durchgeführt. Bei der Situationsrekonstruktion nach Schwärzung wurde festgestellt, dass die Ergebnisse umso detaillierter und exakter waren, je länger die entsprechende Situation gezeigt wurde. Ab 7 Sekunden wurden die Ergebnisse nicht mehr signifikant besser und es stellte sich ein Plateau ein. Die Studie berücksichtigte jedoch keine konkrete Simulation einer durchgängigen Strecke während hochautomatisierter Fahrt mit Ausübung einer FFT.

Yang, Karakaya, Dominioni, Kawabe und Bengler (2018) untersuchten bei automatisierter Fahrt das Situationsbewusstsein mittels indirekter Messung und stellten fest, dass ein LED-Lichtband half das Situationsbewusstsein bei einer Übernahmesituation schneller aufzubauen.

Zusammenfassung

An dieser Stelle kann festgehalten werden, dass in der Literatur bereits unterschiedliche Einflussfaktoren auf die Übernahmefähigkeit bei automatisierter Fahrt identifiziert und erforscht wurden. Auch kann berichtet werden, dass bereits standardisierte und naturalistische FFT untersucht wurden. Jedoch untersuchten vergleichsweise wenige Studien mehr als nur eine FFT. Ferner zeigte die Recherche, dass wenn mehrere FFT, welche unterschiedliche Belastungen aufwiesen, untersucht wurden, unter den verschiedenen Tätigkeiten je nach Studie keine signifikanten Unterschiede bei der Übernahmefähigkeit festzustellen waren und dass der Untersuchungsfokus stets auf die Übernahmesituation gesetzt wurde. So fanden Studien heraus, dass die Übernahmezeit sich bei Ausführung einer FFT im Vergleich zur Referenz verschlechtert, andere konnten keine Unterschiede feststellen und vereinzelt wurde sogar ein positiver Effekt durch eine FFT berichtet.

2.7 Identifizierung der Forschungslücke und Ableiten der Forschungsfragen

Aus der Zusammenfassung von Kapitel 2.6 kann festgehalten werden, dass Personen sich bei steigendem Automationsgrad mit mehr FFT beschäftigen wollen und dies auch ab hochautomatisierter Fahrt dürfen (Jamson et al., 2013; SAE, 2018) sowie unterschiedliche Einflussfaktoren auf die Übernahmefähigkeit identifiziert wurden. Diese sind nach einer Meta-Studie Zhang et al. (2019) unter anderem die *Dringlichkeit der Übernahmesituation*, Umgebungsfaktoren wie die *Komplexität der Verkehrssituation*, das *Alter*, die *Belastung durch eine FFT*, die *Gestaltung der RÜA* und das *Situationsbewusstsein*.

Dabei konnte festgestellt werden, dass FFT je nach Literaturangabe und in Abhängigkeit der Art einen negativen, neutralen oder positiven Einfluss auf die Übernahmefähigkeit besitzen können.

Da für den weiteren Verlauf der Arbeit der Fokus auf ein möglichst realitätsnahes Untersuchungskonzept mit hoher Übertragbarkeit in die Praxis gelegt wird, müssen relevante naturalistische FFT identifiziert werden. Daraus ergibt sich die erste einleitende Forschungsfrage:

FF1 Welche naturalistischen fahrfremden Tätigkeiten (FFT) wollen Personen heutzutage im hochautomatisierten Pkw ausführen?

Nachdem die von den Nutzern präferierten FFT identifiziert wurden, sollen diese im nächsten Schritt nach der Annahme von Winter et al. (2014) hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die mentale Beanspruchung und das Situationsbewusstsein untersucht werden, da diese mitunter die Hauptindikatoren für die menschliche Leistung in automatisierten Systemen widerspiegeln (vgl. Kapitel 2.4 und 2.5). Bisherige Studien untersuchten hauptsächlich den Einfluss einer FFT mit standardisierter visueller oder kognitiver Belastung auf die Übernahmefähigkeit. Die Untersuchung der tatsächlichen Beanspruchung durch verschiedene FFT während der automatisierten Fahrt wurde bisher noch nicht

hinreichend untersucht und stellt damit eine Forschungslücke dar. In dieser Arbeit wird die FFT als eigenständiger Untersuchungsgegenstand während der hochautomatisierten Fahrt angesehen, woraus sich die folgende Forschungsfrage ergibt:

FF2 Wie unterscheidet sich die **mentale Beanspruchung** bei Ausführung verschiedener naturalistischer FFT während hochautomatisierter Fahrt?

Wie bereits in der Literatur festgestellt (vgl. Kapitel 2.5), kann ein hohes Situationsbewusstsein mit einer guten menschlichen Leistung in automatisierten Systemen in Verbindung gebracht werden. Da bisher in der Literatur noch nicht das Situationsbewusstsein im Kontext der hochautomatisierten Fahrt bei gleichzeitiger Ausführung von FFT untersucht wurde, wird dies als weitere Forschungslücke identifiziert. Darüber hinaus stellt sich die Frage, falls ein geringes Situationsbewusstsein vorhanden ist, wie lange es dauert, um ein ausreichendes Situationsbewusstsein aufzubauen. Dieser Sachverhalt wird mit folgender Forschungsfrage untersucht:

FF3 Wie unterscheidet sich das **Situationsbewusstsein** bei der Ausführung verschiedener naturalistischer FFT während hochautomatisierter Fahrt und führt eine Vorwarnzeit zu einem höheren Situationsbewusstsein?

Bisher deuten die überprüften Studien darauf hin, dass FFT einen Einfluss auf die Übernahmefähigkeit der Fahrzeugnutzenden haben (vgl. Kapitel 2.6). Wie sich unterschiedliche naturalistische FFT auf die Übernahmefähigkeit auswirken und ob diese durch die beiden zuvor untersuchten Konstrukte *mentale Beanspruchung* und *Situationsbewusstsein* erklärt werden können, soll mit folgender Forschungsfrage genauer untersucht werden:

FF4 Wie unterscheidet sich die **Rückübernahmefähigkeit** bei der Ausführung verschiedener naturalistischer FFT und kann diese durch die mentale Beanspruchung und das Situationsbewusstsein erklärt werden?

3 Untersuchungsmodell und Leithypothesen

Der bisherige Literaturüberblick zeigte, dass die hochautomatisierte Fahrt bei gleichzeitiger Ausführung von FFT bisher noch nicht mit dem Belastungs- Beanspruchungsansatz untersucht wurde. Mittels eines selbstentwickelten Untersuchungsmodell werden die aus dem aktuellen Stand der Forschung abgeleiteten Forschungsfragen (vgl. Kapitel 2.7) grafisch in einen Zusammenhang dargestellt und so das Forschungsvorhaben visuell beschrieben (Kapitel 3.1). Anschließend werden aus den Forschungsfragen Leithypothesen abgeleitet (Kapitel 3.2) und eine Übersicht der deskriptiven Analyse und inferenzstatistischen Tests zur Hypothesenprüfung gegeben (Kapitel 3.3).

3.1 Untersuchungsmodell

Basierend auf dem in Kapitel 2.4 vorgestellten BBK wird in diesem Kapitel ein Untersuchungsmodell hergeleitet und schematisch dargestellt. Das Forschungsvorhaben dieser Arbeit untersucht den Einfluss von FFT während der hochautomatisierten Fahrt auf die mentale Beanspruchung, das Situationsbewusstsein und die Rückübernahmefähigkeit. Auf Basis des angefertigten Modells werden die zu untersuchenden Leithypothesen formuliert und visualisieren zugleich die angenommenen Wirkweisen. Diese Wechselwirkungen können folgende Ausprägungen besitzen: verstärkend, abschwächend. Weiter wird untersucht, ob sich diese je nach ausgeführter FFT unterscheiden oder nicht. Das Modell beschreibt, erklärt und sagt die postulierten Zusammenhänge zwischen Ursachen, wie äußerliche Belastungen in Form von FFT oder der Umgebung, deren Wirkung auf die menschliche Leistung sowie die daraus resultierende Beanspruchung im Untersuchungskontext vorher.

Die menschliche Leistung wird durch individuelle Antriebe wie beispielsweise der Aufgabenmotivation sowie Fähigkeiten moderiert. Dispositionsmerkmale (u.a. Trainingseffekte) werden konstant gehalten oder zumindest mittels Versuchsreihenfolgepermutation kontrolliert.

Unter dem Aspekt der menschlichen Leistung fällt in dem Untersuchungskontext die Aufgabenerfüllung der FFT, welche mit einer hohen Priorität bearbeitet werden soll. Zur Überprüfung des Situationsbewusstseins und der leistungsbasierten Beanspruchungsdaten werden zusätzlich weitere Leistungsmaße im Versuchskontext erfasst. Wie in Kapitel 2.5 erläutert, sollten das Situationsbewusstsein und die mentale Beanspruchung voneinander unabhängig gemessen werden. Die Leistung korreliert jedoch nicht grundsätzlich mit dem Situationsbewusstsein, da selbst bei gutem Situationsbewusstsein falsche Handlungen entstehen können. Umgekehrt können wiederum bei schlechtem Situationsbewusstsein sehr gute Leistungen erbracht werden (Kokar & Endsley, 2012). Dennoch wurde für diesen Untersuchungskontext das Situationsbewusstsein im Abschnitt der menschlichen Leistung implementiert. Ebenfalls wie Kapitel 2.5 erläutert, werden drei Situationsbewusstseinsmessungen (ohne Warnung, mit kurzer und langer Vorwarnzeit) je FFT durchgeführt, um den Aufbau des Situationsbewusstseins weiter zu untersuchen. Die

Rückübernahmefähigkeit kann auch in den Kontext der menschlichen Leistung zugeordnet werden. Zur Bestimmung der resultierenden mentalen Beanspruchung werden subjektive, physiopsychologische und leistungsbasierte Messverfahren verwendet. Alle genannten Komponenten sind in Abbildung 3-1 dargestellt.

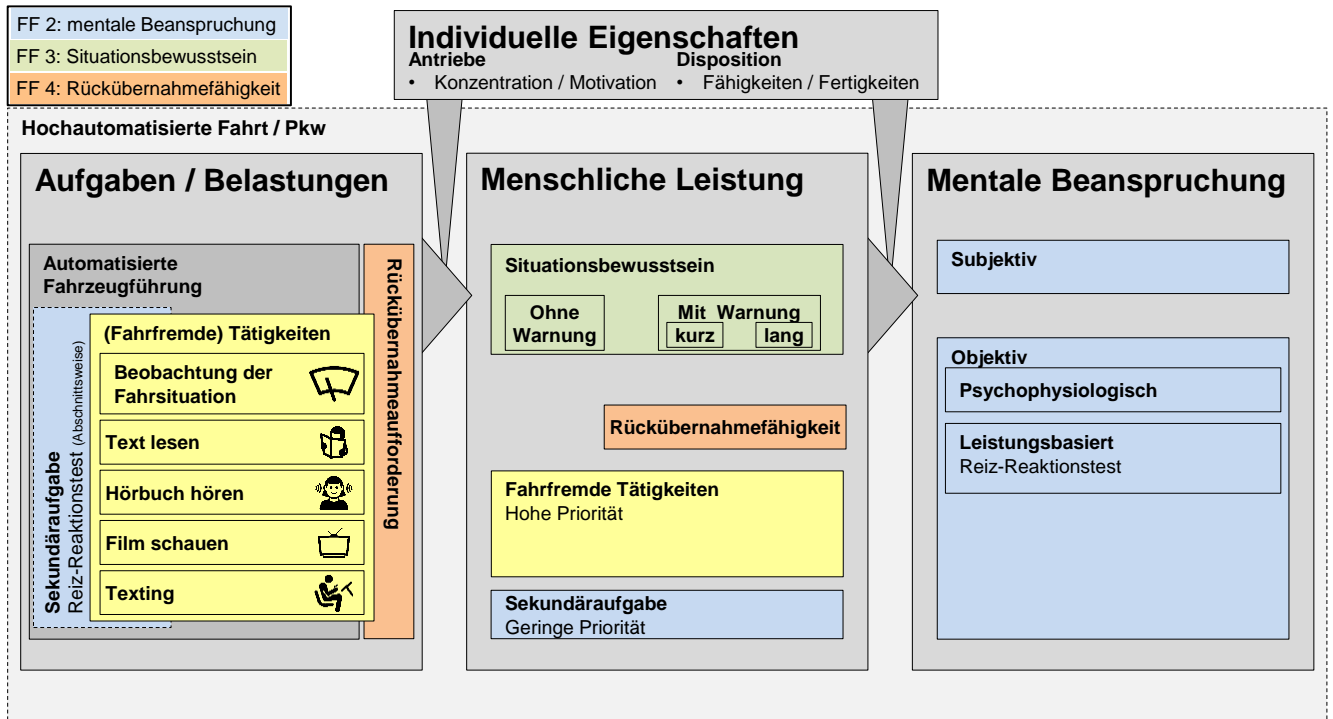


Abbildung 3-1: Modell zur Untersuchung von naturalistischen FFT während hochautomatisierter Fahrt in Abhängigkeit der Beanspruchung, des Situationsbewusstseins und der Übernahme-fähigkeit. Basierend auf dem BBK nach Luczak (1975, modifiziert von Rohmert 1984)

3.2 Leithypothesen

Das aufgestellte Modell sowie die vorhandenen Wechselwirkungen werden im weiteren Verlauf dieser Arbeit empirisch überprüft. Die Forschungsfragen werden anhand der Leithypothesen für die statistische Auswertung konkretisiert und nach der Vorstellung der Messmethoden in Kapitel 5.1.8 detaillierter dargestellt. Da noch keine Ergebnisse zu der mentalen Beanspruchung und dem Situationsbewusstsein bei den zu untersuchenden FFT während automatisierter Fahrt vorliegen, werden ungerichtete Unterschiedshypothesen und gerichtete Zusammenhangshypothesen für die Forschungsfragen 2 bis 4 erstellt.

Der Übersichtlichkeit halber werden im Folgenden die Leithypothesen, welche einen Unterschied oder Zusammenhang erwarten lassen, als *Alternativhypothesen* beschrieben. Für die statistische Untersuchung werden die entsprechenden Nullhypothesen gebildet und untersucht.

Die erste Leithypothese bezieht sich auf die mentale Beanspruchung (FF2). Da in der Literatur erste Erkenntnisse zeigen, dass FFT mit steigender mentaler Beanspruchung zu unterschiedlichen Rückübernahmezeiten führen (vgl. Summala, 2000 und Kapitel 2.6), wird dieser Sachverhalt im Kontext der hochautomatisierten Fahrt, bei welcher der Mensch immer noch als Rückfallebene gilt, als kritische

Größe angesehen. Daher wird angenommen, dass ein Unterschied in der mentalen Beanspruchung bei der Ausführung unterschiedlicher FFT vorliegt. Somit lautet die erste Leithypothese:

LH1: Es gibt einen signifikanten Unterschied in der mentalen Beanspruchung der Probanden bei der Ausführung von verschiedenen naturalistischen FFT während hochautomatisierter Fahrt.

Die Leithypothesen 2.1 bis 2.3 beziehen sich auf das Situationsbewusstsein während der Ausführung von FFT während hochautomatisierter Fahrt (FF3). Da bisher noch keine Untersuchungen zum vorliegenden Situationsbewusstsein bei der Ausführung von FFT bekannt sind, muss an dieser Stelle die Leithypothese ebenfalls ungerichtet formuliert werden:

LH2.1 Das Situationsbewusstsein ohne Vorwarnzeit weist in Abhängigkeit der ausgeführten FFT während hochautomatisierter Fahrt signifikante Unterschiede auf.

Darüber hinaus stellt sich die Frage, ob das Situationsbewusstsein im Kontext der hochautomatisierten Fahrt bei der Ausführung von FFT innerhalb einer Vorwarnzeit aufgebaut werden kann und ob sich diese in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden Länge verändert. Angenommen wird ein verbessertes Situationsbewusstsein durch eine längere Vorwarnzeit:

LH2.2: Das Situationsbewusstsein erhöht sich signifikant mit zunehmender Vorwarnzeit.

Ferner wird bei der Hypothesenbildung angenommen, dass sich das Situationsbewusstsein nach einer Vorwarnzeit zwischen den einzelnen FFT nicht mehr signifikant voneinander unterscheidet und sich das Situationsbewusstseinsniveau über alle FFT angeglichen hat:

LH2.3: Unter Einbeziehung einer Vorwarnzeit gibt es keine signifikanten Unterschiede beim aufgebauten Situationsbewusstsein in Abhängigkeit der ausgeführten FFT während hochautomatisierter Fahrt.

Leithypothesen 3.1 und 3.2 betrachten die Rückübernahmefähigkeit des Fahrzeugnutzenden, wenn das hochautomatisierte Fahrzeug an eine Systemgrenze stößt und die Person zur manuellen Fahrzeugführung (FF4) wechseln muss. Auch hier findet die Untersuchung während der Ausführung von FFT statt. Die ungerichteten Leithypothesen lassen sich in Rückübernahmezeit sowie Rückübernahmequalität unterteilen und lauten daher:

LH3.1: Es gibt einen signifikanten Unterschied in der Rückübernahmezeit von automatisierter zu manueller Fahrt in Abhängigkeit unterschiedlicher ausgeführter FFT.

LH3.2: Es gibt einen signifikanten Unterschied in der Rückübernahmequalität von automatisierter zu manueller Fahrt in Abhängigkeit unterschiedlicher ausgeführter FFT.

Die letzte Leithypothese wird als Zusammenhangshypothese formuliert und kombiniert die soeben vorgestellten Sachverhalte der mentalen Beanspruchung, des Situationsbewusstseins und der Rückübernahmefähigkeit. Dabei werden nicht die FFT als einzelne Faktoren untersucht, sondern der übergeordnete Zusammenhang. Außerdem wird auf Basis der Literaturerkenntnisse angenommen, dass mit steigender mentaler Beanspruchung und einem abnehmenden Situationsbewusstsein die Rückübernahmefähigkeit abnimmt. Dieser Zusammenhang wird in folgender Hypothese formuliert:

LH4: Mit steigender mentaler Beanspruchung und abnehmendem Situationsbewusstsein, hervorgerufen durch naturalistische FFT während hochautomatisierter Fahrt, nimmt die Rückübernahmefähigkeit signifikant ab.

Zusammenfassend sind alle Leithypothesen in dem Untersuchungsmodell in Abbildung 3-2 dargestellt. LH1 untersucht somit einerseits den direkten Einfluss, die eine Belastung durch das hochautomatisierte Fahren und gleichzeitig stattfindende verschiedene FFT (Pfad oben) auf die mentale Beanspruchung haben können sowie andererseits den indirekten Einfluss einer leistungsbasierten Sekundäraufgabe, die simultan ausgeführt wird (Pfad unten). LH2.1 bezieht sich auf das vorhandene Situationsbewusstsein während des hochautomatisierten Fahrens sowie der Ausführung unterschiedlicher FFT. Ausgehend von einer Situationsbewusstseinsmessung wird ein unterschiedliches Situationsbewusstsein je nach untersuchten FFT vermutet. Der Pfad zur LH2.2 postuliert einen positiven Zusammenhang zwischen dem Situationsbewusstsein und steigender Vorwarnzeit. Der Pfad von LH2.3 wird analog zu LH2.1 betrachtet. Hier wird jedoch die Annahme getroffen, dass sich das Situationsbewusstsein nach einer Vorwarnzeit zwischen den einzelnen FFT nicht mehr unterscheidet. Alle bisher genannten Leithypothesen beziehen sich auf die Ausführung von FFT während hochautomatisierter Fahrt ohne RÜA. Im Gegensatz dazu betrachten LH3.1 und LH3.2 die Rückübernahmezeit bzw. Rückübernahmequalität nachdem eine RÜA erfolgt. Auch hier werden Unterschiede in Abhängigkeit der ausgeführten FFT angenommen. Die letzte Leithypothese (LH4) schließt den Zusammenhang zwischen den untersuchten Größen und postuliert einen negativen Effekt bei steigender mentaler Beanspruchung, wohingegen ein positiver Effekt auf die Rückübernahmefähigkeit durch ein steigendes

Situationsbewusstsein erwartet wird. Nachdem alle Messmethoden vorgestellt wurden, findet eine detaillierte Aufstellung der Leithypothesen zu einzelnen Hypothesen in Kapitel 5.1.8 statt.

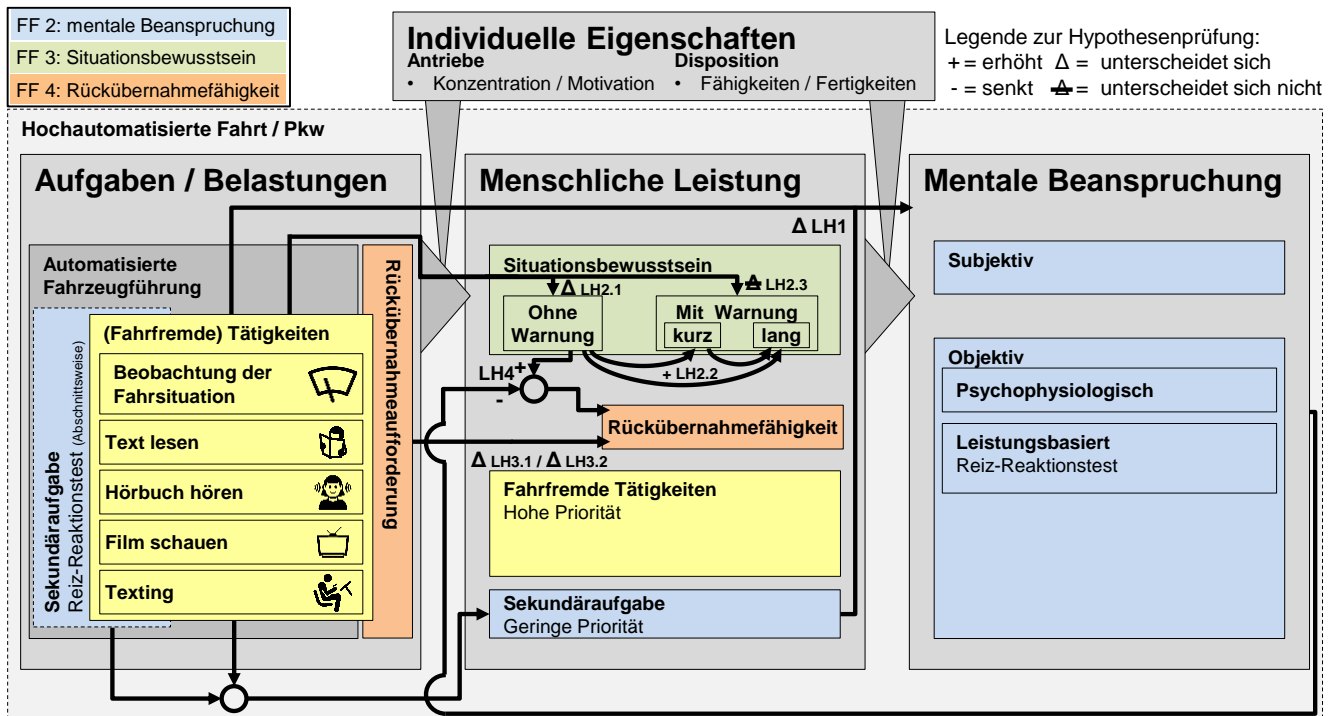


Abbildung 3-2: Untersuchungsmodell mit eingezeichneten Leithypothesen

3.3 Deskriptive Analyse und inferenzstatistische Tests

Für die *deskriptive Datendarstellung* wird für jede Versuchsperson, für jeden relevanten Versuchsabschnitt und jede FFT ein arithmetisches Mittel der entsprechenden Kenngröße erstellt. Diese Mittelwerte werden im nächsten Schritt von möglichen Ausreißern bereinigt, da inferenzstatistische Untersuchungen gegenüber diesen meist nicht robust sind. Zur systematischen Datenbereinigung kann die *Winsorisierung* oder das *Trimming* angewandt werden. Die Winsor-Methode (vgl. Dixon & Yuen, 1974) ersetzt Datenpunkte unterhalb des 5. und oberhalb des 95. Perzentils durch den Wert des 5. bzw. 95. Perzentils. Das Trimming hingegen geht mit einem Datenverlust einher, da alle Daten oberhalb oder unterhalb der Grenze verworfen werden. Um den beschriebenen Datenverlust zu vermeiden, werden Ausreißer aller betrachteten Kennwerte winsorisiert (Thode, 2002). Dieser bereinigte Datensatz wird anschließend für die Erstellung der Boxplots verwendet. Boxplots bieten den Vorteil, dass Lagemaße (Mittelwert oder Median) sowie Dispersionsmaße gleichzeitig visualisiert werden (Döring & Bortz, 2016). Der arithmetische Mittelwert aller bereinigten Probandenmittelwerte wird durch ein Sternchen im Inneren der Box und der Median durch eine horizontale Linie innerhalb der Box gekennzeichnet. Zur Überprüfung der Forschungshypothesen finden *inferenzstatistische Testverfahren* durch die Analysesoftware SPSS von IBM statt. Für die Testauswahl wurde der Entscheidungsbaum von Blankenberger und Vorberg (1998) benutzt und für diese Arbeit in Abbildung 3-3 gekürzt dargestellt.

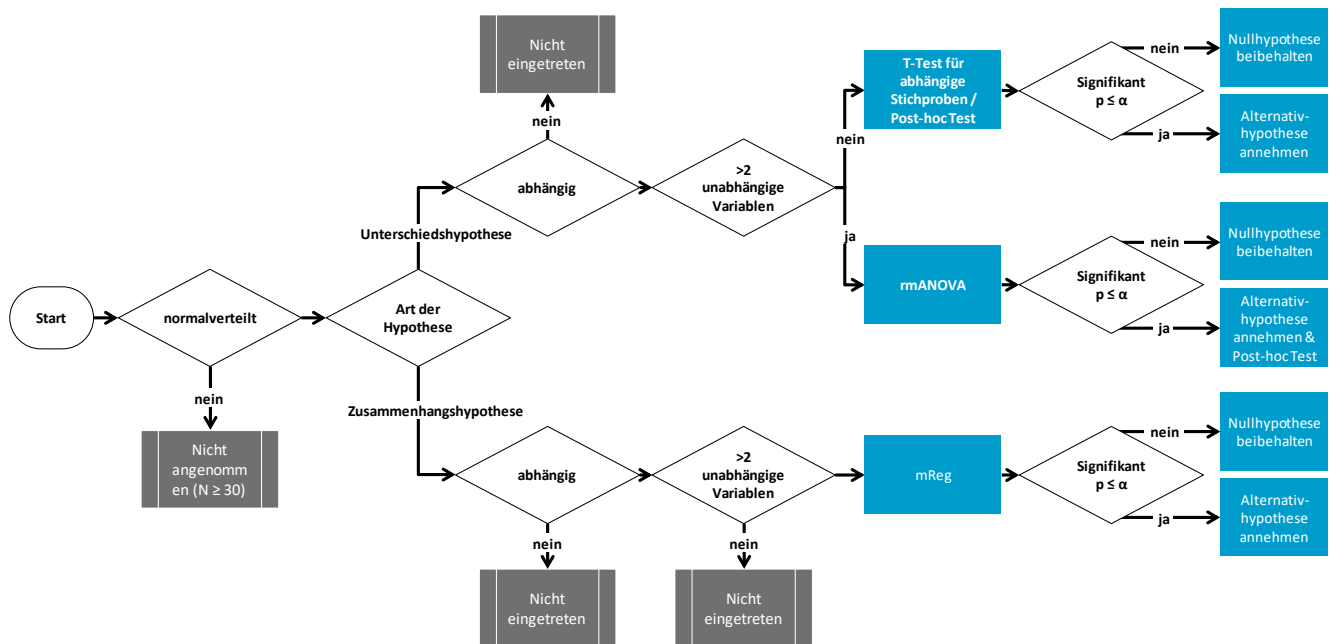


Abbildung 3-3: Entscheidungsdiagramm zur statistischen Auswertung in Anlehnung an Blankenberger und Vorberg (1998)

Es soll an dieser Stelle ausdrücklich erwähnt werden, dass die Forschungshypothesen aus Kapitel 3, welche einen Unterschied erwarten lassen, als Alternativhypothese zu deuten sind. Die im weiteren Verlauf genannten Tests untersuchen hingegen die Nullhypothese. Die Nullhypothese vermutet, dass es keinen Unterschied oder Zusammenhang gibt, währenddessen die Alternativhypothese einen Unterschied oder Zusammenhang annimmt. Die Bestätigung einer Hypothese geschieht über die Annahme der wiederholten Widerlegung. Das Signifikanzniveau beschreibt die Wahrscheinlichkeit, dass die Nullhypothese fälschlicherweise abgelehnt wird und kann daher auch als Irrtumswahrscheinlichkeit bezeichnet werden (Döring & Bortz, 2016). Das Signifikanzniveau wird hierbei für alle Hypothesen auf $\alpha=0,05$ festgelegt. Abhängig vom statistischen Test wird ein Wahrscheinlichkeitswert (p-Wert) bestimmt. Liegt dieser Wert unter dem angenommenen Signifikanzniveau, wird die Nullhypothese abgelehnt und die alternative Hypothese als wahrscheinlich angesehen.

Die Normalverteilungsannahme stellt eine Voraussetzung dar, um ein geeignetes Testverfahren wählen zu können. Daher wird jede Datenreihe der betrachteten Kennwerte auf Normalverteilung überprüft. Aufgrund seiner höheren Trennschärfe wurde der Shapiro-Wilk-Test dem Kolmogorow-Smirnow-Test vorgezogen (Razali & Wah, 2011).

Der Shapiro-Wilk Test testet auf einem Signifikanzniveau von $\alpha=0,05$. Die Wahrscheinlichkeit eines Testergebnis (p) kleiner gleich 0,05 bedeutet, dass der Test signifikant ist und, dass die Daten nicht normalverteilt sind. Ein Wert größer als 0,05 hingegen bedeutet, dass die Daten normalverteilt sind.

In der vorliegenden Arbeit sind die FFT als *unabhängige Variablen (UV)* definiert, wohingegen die jeweiligen zu untersuchenden Kennwerte als *abhängige Variablen (AV)* zu betrachten sind.

Da im Versuch insgesamt fünf FFT und je nach Kenngröße noch eine weitere Referenzmessung durchgeführt wurden, handelt sich bei allen Unterschiedshypothesen um eine *einfaktorische*

Varianzanalyse mit Messwiederholung (rmANOVA). Eine Voraussetzung zur Verwendung einer rmANOVA ist, dass eine Normalverteilung vorliegen muss. Es gibt jedoch Literaturangaben (vgl. Blanca, Alarcón, Arnau, Bono & Bendayan, 2017), die belegen, dass eine rmANOVA robust gegenüber einer nicht vorliegenden Normalverteilung ist. Des Weiteren besagt das zentrale Grenzwerttheorem, dass bei einer ausreichend großen Stichprobe ($N \geq 30$) auf eine Überprüfung der Normalverteilung verzichtet werden kann (Duller, 2019). Eine weitere Voraussetzung für die rmANOVA ist die Anwesenheit von Sphärizität (ϵ). Dies bedeutet, dass die Varianz aller UV annähernd konstant sein sollte. Ist dies nicht der Fall, steigt die Wahrscheinlichkeit einen Fehler 1. Art zu begehen. Die Überprüfung der ϵ wird mittels Mauchly-Test durchgeführt (Mauchly, 1940). Ähnlich wie bei der Überprüfung der Normalverteilung muss $p \geq 0,05$ sein, damit die Nullhypothese abgelehnt werden kann und die Daten somit ϵ aufweisen. Trifft dies nicht zu, muss eine Epsilon-Korrektur erfolgen. Bei einem $\epsilon > 0,75$ wird eine Hunynh-Feldt-Korrektur durchgeführt, bei $\epsilon < 0,75$ hingegen eine Greenhouse-Geisser-Korrektur (Girden, 1992). Letztendlich kann durch das Testergebnis der rmANOVA lediglich eine Aussage darüber getroffen werden, ob sich mindestens zwei FFT statistisch signifikant voneinander unterscheiden oder nicht. Um beurteilen zu können inwieweit sich die FFT zueinander unterscheiden, werden bei ungerichteten Hypothesen sogenannte *Post-Hoc-Tests* durchgeführt, welche einen paarweisen Mittelwertvergleich für alle UV durchführen. Hierbei wurde zusätzlich die Bonferroni-Korrektur angewandt, um eine Alphafehlerkumulierung, unter welcher eine erhöhte Wahrscheinlichkeit einer positiv-falschen Annahme beim multiplen Testen vorliegen kann, abzuwenden. Um die Stärke des statistischen Unterschieds quantifizieren zu können, wird das Kriterium der sogenannten *Effektstärke* oder auch *Effektgröße* herangezogen (Cohen, 1988). Dieser Wert wird bei einer rmANOVA mit dem f-Wert angegeben und liegt zwischen 0 (kein Effekt) und 1 (maximaler Effekt). Für die Interpretation legte Cohen (1988) Referenzwerte fest, nach welchen von kleinen, mittleren sowie großen Effekten gesprochen werden kann, siehe Tabelle 3-1.

Mit Hilfe einer *multiplen Regression* (mReg) lassen sich Zusammenhangshypothesen statistisch untersuchen. Dieses Testverfahren prüft, ob die Ausprägung einer abhängigen Variable durch mehrere unabhängige Variablen erklärt werden kann. Eine mReg ist die Erweiterung einer einfachen Regression und erlaubt, mehrere unabhängige Variablen gleichzeitig in einem Modell zu berücksichtigen. Das Funktionsprinzip der mReg basiert, wie das der einfachen Regressionsanalyse, auf der "Methode der kleinsten Quadrate". Wie bei der rmANOVA werden Ausreißer im Vorfeld systematisch entfernt und auf Homoskedastizität geprüft. Nachfolgend werden die UV auf Autokorrelation mit der Durbin-Watson-Methode getestet. Sind die Koeffizienten der jeweiligen UV signifikant ($p < 0,05$), sind sie in der Lage den Einfluss auf die AV zu erklären. Das Qualitätskriterium in einer Regressionsanalyse wird durch das Bestimmtheitsmaß R^2 (zwischen 0 und 1) beschrieben und kann als Effektstärke interpretiert werden.

Je höher das Bestimmtheitsmaß, desto größer ist die Erklärungskraft für den Zusammenhang. Für eine höhere Varianzaufklärung wurde eine Klassifikation der Parameter durchgeführt. Die Klassifikation der Übernahmezeit wurde in kurze und lange Übernahmezeiten durch Verwendung eines Mediansplits eingeteilt. Auch die Prädiktoren wurden in jeweils drei gleichverteilte Gruppen mit den Ausprägungen gering (1), mittel (2) und hoch (3) eingeordnet.

Zusätzlich wurde in diesem Zusammenhang ein Entscheidungsbaummodell mittels eines maschinellen Lernalgorithmus *rPart* erstellt. Hierfür werden 80 % des vorhandenen Datensatzes zum Lernen des Entscheidungsbaummodells herangezogen. Die Präzision des Vorsagemodells wird mit den restlichen 20 % der Datenpunkte überprüft.

Tabelle 3-1: Klassifizierung der Effektstärke nach Cohen (1988)

Statistischer Test Effektstärke	Unterschiedshypothesen		Zusammenhangshypothesen
	Gepaarter T-Test	rmANOVA	mReg
Kleiner Effekt	$0,2 \leq d < 0,5$	$0,1 \leq f < 0,25$	$0,02 \leq R^2 < 0,13$
Mittlerer Effekt	$0,5 \leq d < 0,8$	$0,25 \leq f < 0,4$	$0,13 \leq R^2 < 0,26$
Großer Effekt	$0,8 \leq d$	$0,4 \leq f$	$0,26 \leq R^2$

4 Empirische Studien zur Identifikation von fahrfremden Tätigkeiten

Dieses Kapitel unterteilt sich in zwei realisierte Studien, die zur Identifikation relevanter FFT während hochautomatisierter Fahrt durchgeführt wurden. Einerseits wird eine Onlinebefragung beschrieben und andererseits eine Beobachtung einer Cover-Story-Simulationsfahrt.

Für eine hohe Übertragbarkeit der Ergebnisse in die Praxis wurde entschieden, dass naturalistische FFT untersucht werden sollen. Eine Auswahl von FFT basierend auf einer Literaturrecherche wurde in einer eigenen **Onlineumfrage** in Bezug auf die Nutzungshäufigkeit abgefragt.

Um die Auswahl zu verkleinern wurde anschließend die FFT, die in der Befragung eine hohe Nutzungshäufigkeit zeigten mittels **Cover-Story-Fahrsimulatorstudie** erneut auf ihre Relevanz geprüft. Auf Basis der Erkenntnisse wird im Anschluss eine Selektion weiter zu untersuchender FFT präsentiert.

4.1 Onlineumfrage zur Identifikation relevanter FFT

4.1.1 Methodisches Vorgehen

Zur Verifizierung relevanter FFT wurde die in Kapitel 2.3.4 erstellte Tabelle 2-2 mittels Online-Fragebogen einem breiten Probandenkollektiv auf der Plattform *SosciSurvey* (<<https://www.soscisurvey.de/>>) zur Verfügung gestellt. Während des Erhebungszeitraums (Dezember 2017 - Januar 2018) konnte über einen öffentlich zugänglichen Link der Fragebogen ausgefüllt werden. Darüber hinaus wurde die Umfrage auf dem Forschungsportal *SurveyCircle* (<<https://www.surveycircle.com/de/>>) gelistet, um die Stichprobe zu erweitern. Der Fragebogen wurde in deutscher Sprache formuliert. Da sich alle Fragen in der Studie auf das persönliche Verhalten der Testpersonen als Fahrer und nicht als Beifahrer bezogen, bestand die Zielgruppe der Online-Umfrage ausschließlich aus Personen, die derzeit einen Autoführerschein besaßen. Die Liste der FFT wurde von allen Versuchspersonen zweimal beantwortet - einmal zur Festlegung der bereits ausgeführten FFT während der manuellen Fahrt:

„Bitte bewerte, wie häufig du bei deiner Fahrt folgende Tätigkeiten ausführst.“

Sowie einmal für die gewünschten FFT während der hochautomatisierten Fahrt:

„Bitte bewerte, wie häufig du die folgenden Tätigkeiten während der Fahrt ausführen würdest, wenn dein Auto automatisiert fahren könnte.“

Zwischen den Befragungsblöcken wurde ein erklärendes Video zum Thema hochautomatisiertes Fahren gezeigt, um so ein Grundverständnis bei allen Versuchspersonen aufzubauen, siehe Anhang A. Die

Probanden wurden gebeten, die FFT auf einer von Rohrman (1978) empfohlenen fünfstufigen Likert-Skala (nie, selten, gelegentlich, häufig, sehr häufig) nach der Nutzungshäufigkeit im Pkw zu bewerten.

4.1.2 Probandenkollektiv

An der Umfrage nahmen 209 Personen teil, von denen 187 die Umfrage vollständig abgeschlossen haben. Personen, die die Umfrage durchgehend mit auffälligen Antwortmustern oder zu schnell beantworteten sowie Personen, die das aufklärende Video zum automatisierten Fahren nicht oder in nicht ausreichender Länge ansahen, wurden von der Auswertung ausgeschlossen. Nach Ausschluss bestand die Stichprobe letztendlich aus $N = 164$ Datensätzen, die für die weitere Analyse Verwendung fanden. Insgesamt nahmen 74 weibliche und 90 männliche Personen teil. Das Durchschnittsalter betrug 36,9 Jahre ($\sigma = 15,1$ Jahre, Altersbereich von 19 bis 75 Jahre). Dabei zeigte sich eine erhöhte Anzahl jüngerer Teilnehmer im Alter von unter 30 Jahren. Dies lässt sich durch die hohe Anzahl an Studierenden sowie der gewählten Datenerhebungsmethodik der Befragung erklären, siehe Abbildung 4-1.

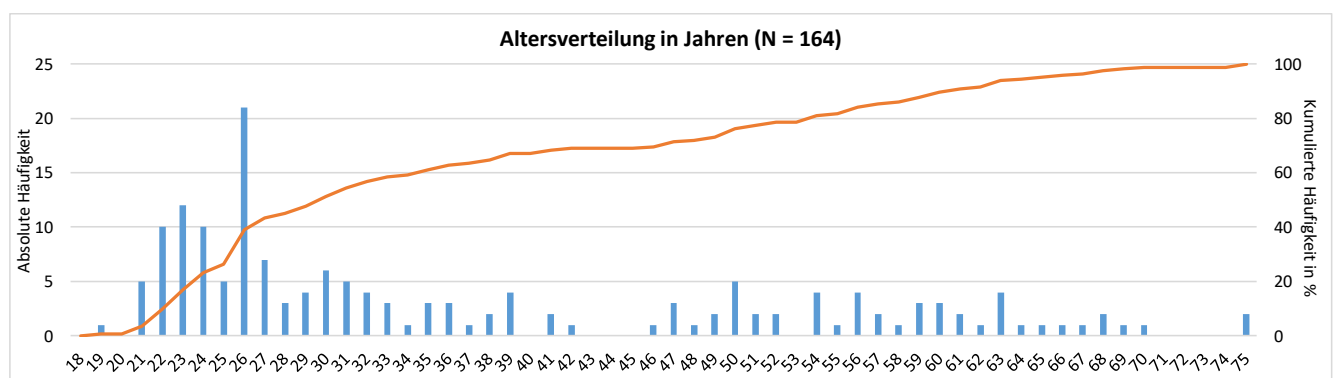


Abbildung 4-1: Altersverteilung der Onlineumfrage

4.1.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse für die manuelle und die hochautomatisierte Fahrt sind in Abbildung 4-2 und Abbildung 4-3 sowie für die bessere Vergleichbarkeit an die Untersuchung von Pfleging et al. (2016) absteigend nach der Nutzungshäufigkeit dargestellt.

Im weiteren Verlauf wurden die Häufigkeitsverteilung für die einzelnen Tätigkeiten gebildet und nach der Nutzungshäufigkeit in Abbildung 4-4 sortiert dargestellt. Es gibt bei der Ausführung der Tätigkeiten Unterschiede zwischen der manuellen und hochautomatisierten Fahrt. Dieser Effekt wurde auch statistisch signifikant belegt $t(163) = -24,06$, $p < 0,001$, $d = 1,9$ (manuelle Fahrt: $MW = 1,9$, $SD = 0,34$; hochautomatisierte Fahrt: $MW = 2,8$, $SD = 0,61$; Der Mittelwert wurde pro FFT und anschließend erneut über alle Tätigkeiten gebildet).

Manuelle Fahrt

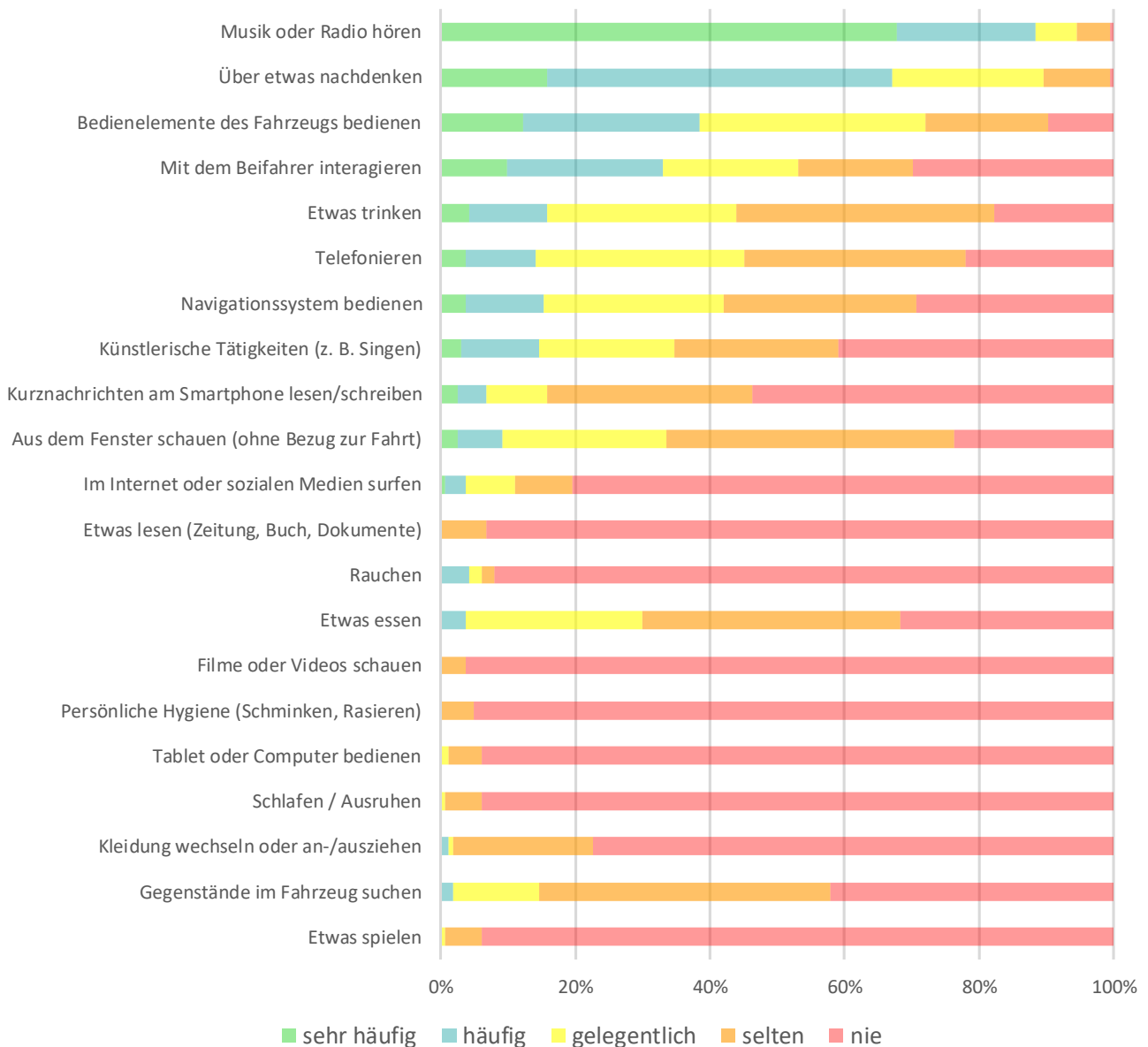


Abbildung 4-2: Ergebnisse der Onlineumfrage: „Bitte bewerten Sie, wie häufig Sie folgende Tätigkeiten bei manueller Fahrt ausführen“ Kategorien: *sehr häufig*, *häufig*, *gelegentlich*, *selten* und *nie* (N = 164)

Während die am häufigsten durchgeführten FFT sowohl bei manueller als auch während hochautomatisierter Fahrt *Musik und Radio hören* oder *über etwas nachdenken* sind, gibt es bei anderen FFT große Unterschiede zwischen der Ausführungshäufigkeit. Die höchste Zuwachsrate der Nutzungsrate von manueller zur hochautomatisierten Fahrt hat dabei die FFT *etwas lesen*, gefolgt von *Kurznachrichten / E-Mails am Smartphone* und *im Internet oder sozialen Medien surfen*. Weiter konnte ein Alterseffekt während hochautomatisierter Fahrt festgestellt werden $t(163) = 3,5$, $p = 0,001$, $d = 0,3$ (<35 Jahre: $MW = 3,0$, $SD = 0,56$, $n = 97$; ≥ 35 Jahre: $MW = 2,6$, $SD = 0,61$, $n = 67$, Mittelwertberechnung siehe oben).

Der Grund der Fahrt (privat oder beruflich) sowie die Art der Strecke (Autobahn, Landstraße, Stadt) haben zu keinen Unterschieden bei der vorhandenen Stichprobe geführt.

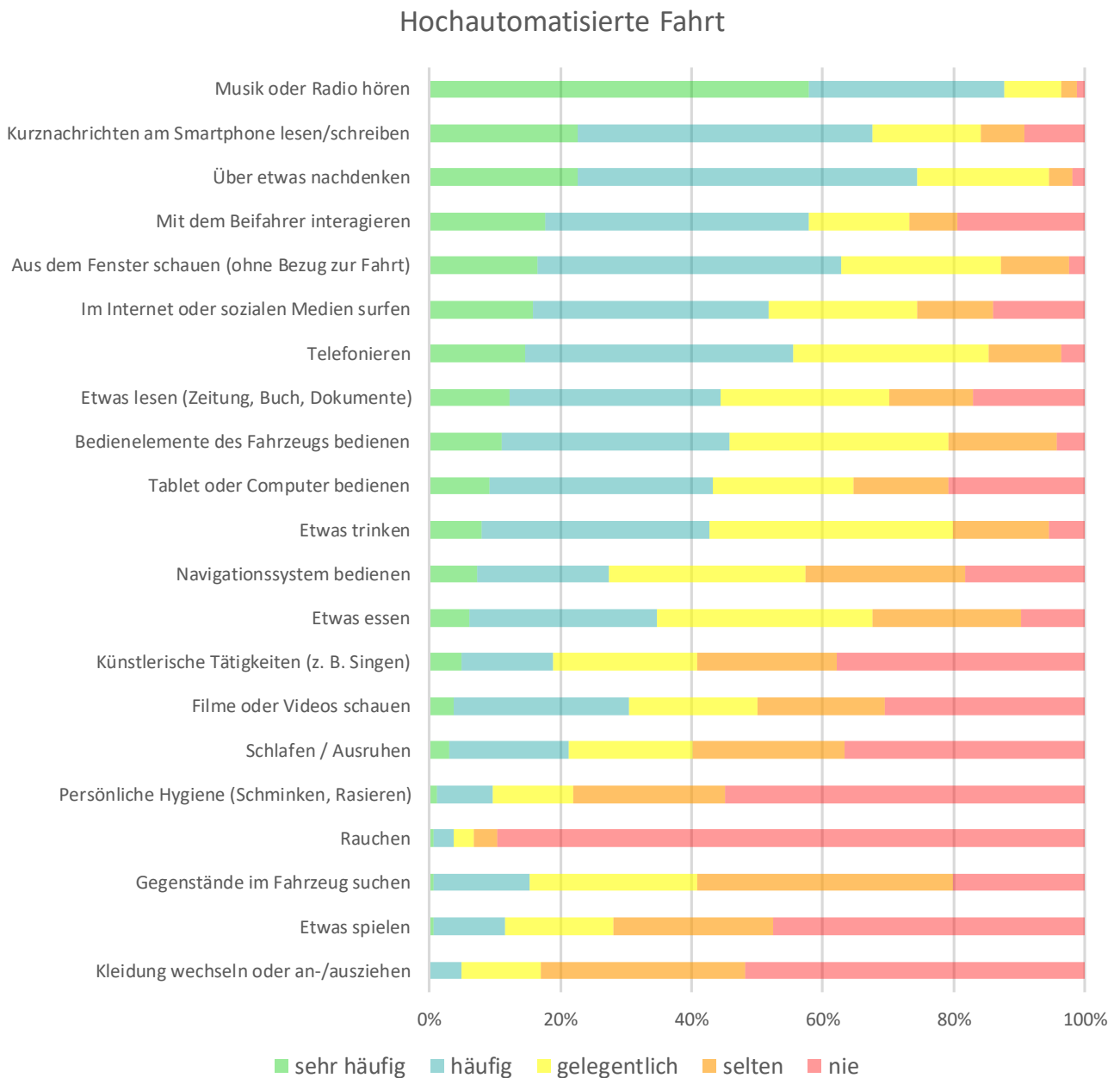


Abbildung 4-3: Ergebnisse der Onlineumfrage: „Bitte bewerten Sie, wie häufig Sie folgende Tätigkeiten während hochautomatisierter Fahrt ausführen würden“. Kategorien: *sehr häufig*, *häufig*, *gelegentlich*, *selten* und *nie* (N = 164)

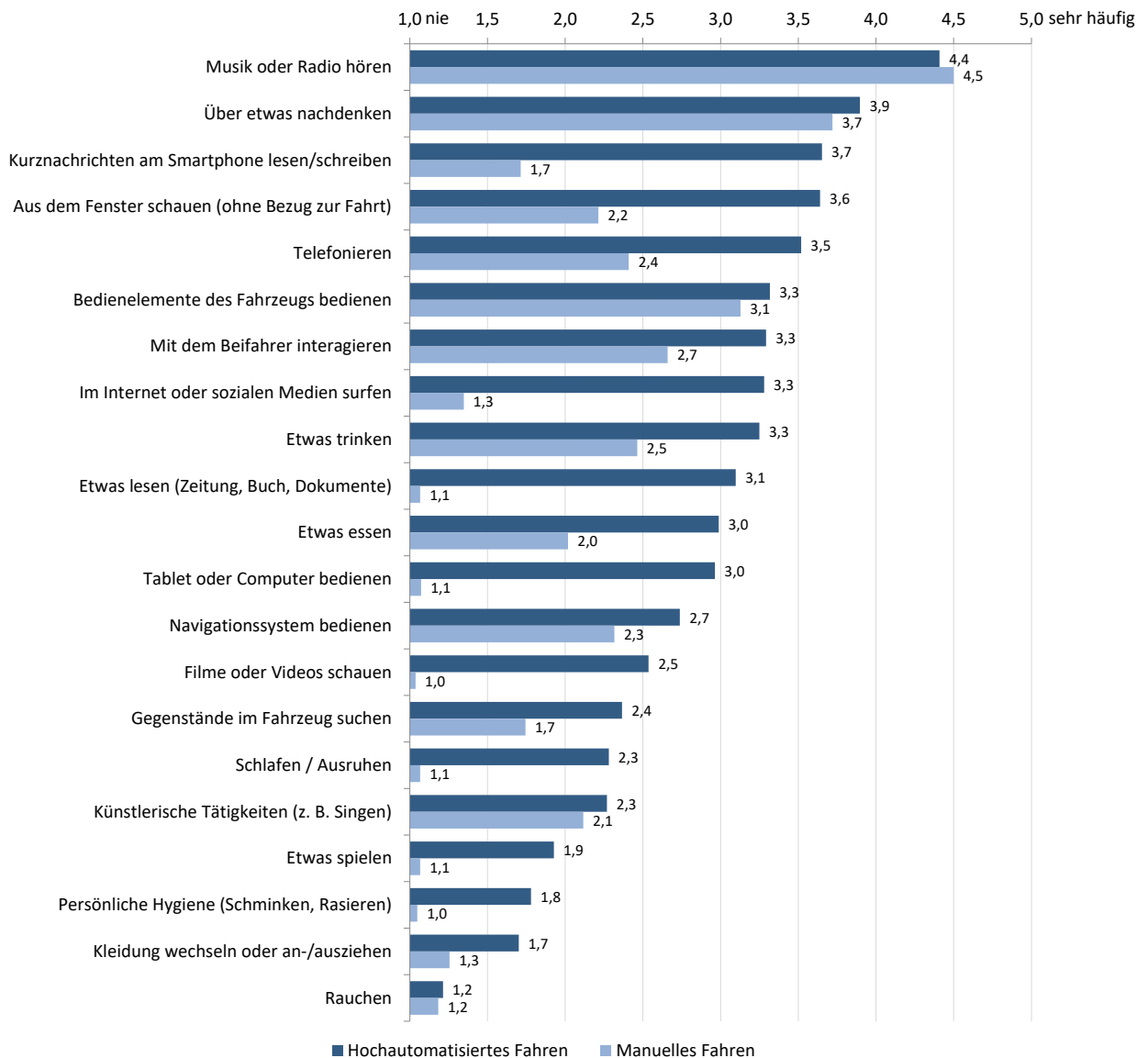


Abbildung 4-4: Ergebnisse der Onlineumfrage: „Bitte bewerten Sie, wie häufig Sie folgende Tätigkeiten ausführen (würden)“ in Abhängigkeit der Automation. Kategorien (N = 164)

4.2 Cover-Story Simulationsfahrt

Durch die Online-Befragung konnte ein erster Eindruck davon gewonnen werden, welche FFT von zukünftigen Nutzern während hochautomatisierter Fahrt ausführen möchten. Jene, die eine hohe potenzielle Nutzungshäufigkeit aufwiesen und FFT, die einen deutlichen Anstieg von manueller zu automatisierter Fahrt zeigten, werden in einer weiterführenden Beobachtungsstudie untersucht. Dabei liegt der Fokus auf einem möglichst realistischen Nutzungskontext, ohne die Probanden einem Risiko auszusetzen. Um dies zu gewährleisten wird ein Experiment im hochautomatisierten Fahrsimulator durchgeführt. Zur Identifikation naturalistischer FFT bei einer simulierten hochautomatisierten Fahrt im Pkw werden im Folgendem zunächst die Messmethoden und anschließend die Ergebnisse vorgestellt.

4.2.1 Methodisches Vorgehen

Die Durchführung einer Cover-Story-Studie ermöglicht in diesem Zusammenhang eine authentischere Darstellung der vom Probanden erwarteten Verhaltensweise, ohne dass sich die Probanden bewusst auf diese fokussieren und sie dadurch möglicherweise verfälschen. Hierbei wird dem Probanden genau erklärt, dass die Ausführung von FFT gestattet, der Untersuchungszweck jedoch ein anderer ist. Den Versuchsteilnehmenden wurde als Untersuchungsziel die Rückübernahmefähigkeit nach hochautomatisierter Fahrt genannt. Mittels einer simulierten Fahrt von 25 Minuten wurde sichergestellt, dass sich die Versuchspersonen an den Simulator sowie an das hochautomatisierte Fahren gewöhnen können. Um den Probanden die Ausübung von FFT während der hochautomatisierten Fahrt zu ermöglichen, wurden jedem Probanden die notwendigen Utensilien im Fahrzeug bereitgestellt. Ausgehend von den Ergebnissen der Onlineumfrage handelt es sich hierbei vorwiegend um Gegenstände, die für die Ausführung der präferierten Tätigkeiten notwendig sind. Neben Printmedien und Lebensmitteln wurde ein internetfähiges Tablet für Navigation, Unterhaltung und Kommunikation im Fahrzeug zur Verfügung gestellt. Die Versuchsperson sitzt während der Studie allein im Fahrzeug und wird mittels Videobeobachtungssystem analysiert. Über ein Tracking-Tool wird die Art als auch die Dauer der ausgeführten FFT vom Versuchsleiter aufgezeichnet. Während der Fahrt findet keine Kommunikation zwischen der Versuchsperson und dem Versuchsleiter statt. Nach der Simulationsfahrt, die ohne RÜA endet, wird der Testperson der eigentliche Versuchszweck mitgeteilt und die Cover-Story aufgelöst.

4.2.2 Untersuchungsumgebung

Zum Zeitpunkt der Anfertigung dieser Forschungsarbeit stand weder ein serien- noch prototypisches Versuchsfahrzeug, welches die hochautomatisierten Fahreigenschaften nach der Definition der SAE (2018) erfüllen kann, zur Verfügung. Daher wurden die Fahrversuche zur Untersuchung der FFT während einer hochautomatisierten Fahrt am statischen Fahrsimulator des Instituts für Arbeitswissenschaft an der TU Darmstadt durchgeführt. Der Fahrsimulator besteht aus einem vollständigen Fahrzeugmockup (Chevrolet Aveo, Baujahr 2008), das von sechs Projektionsleinwänden umgeben ist. Drei Frontprojektionsleinwände sorgen für die Sicht nach vorne und zur Seite sowie weitere drei für die Darstellung des rückwärtigen Verkehrs, den der Proband durch die vorhandenen Außen- und Innenspiegel sehen kann, siehe Abbildung 4-5.

Die Versuche wurden mittels der realitätsnahen Simulationsumgebung *Silab* des Würzburger Instituts für Verkehrswissenschaften (WIVW) GmbH durchgeführt. Die Software ermöglicht es, Simulationskennwerte auszugeben und weitere Stellwerte direkt wieder in die Simulation einfließen zu lassen. Für die Untersuchung wurde in Eigenentwicklung und aufbauend auf dem Conduct-by-Wire-Forschungsvorhaben (vgl. Franz, 2014) ein Automationsregler für das hochautomatisierte Fahren nach

SAE (2018) entwickelt. Dadurch konnte für jeden Probanden eine standardisierte und somit vergleichbare Versuchsfahrt ermöglicht werden. Das System vermittelt den Versuchsteilnehmenden ein funktionierendes hochautomatisiertes Fahrsystem, welches sowohl auf der Autobahn als auch im Stadtverkehr einer einprogrammierten Route folgen kann.



Abbildung 4-5: Links: Außenansicht des statischen Fahrersimulators am Institut für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt; Rechts: Aufnahme des Fahrzeuginnenraums

Für ein möglichst hohes Immersionsempfinden wurden neben der bildlichen Darstellung auch Fahrzeug- und Umgebungsgeräusche wiedergegeben. Die klassischen Bedienelemente des Fahrzeugs (Lenkrad und Pedale) wurden mit Sensoren ausgestattet und speisten die Signale in die Simulationssoftware ein. Durch einen an der Lenksäule verbauten Elektromotor bewegt sich das Lenkrad bei automatisierter Kurvenfahrt erwartungskonform. Während der automatisierten Fahrt kann der Fahrer jederzeit eingreifen und den Automationsregler übersteuern. Mittels eines freien programmierbaren Kombiinstrumentes wird die aktuelle Geschwindigkeit in das Fahrzeugcockpit übertragen.

Insgesamt wurden für diesen Versuchsaufbau 14 Rechner und ein Micro-Controller für die Simulation der Versuchsumgebung zusammengeschaltet. Der schematische Versuchsaufbau mit Beschreibung der jeweiligen Workstation-Aufgaben (WS) Aufgaben ist in Abbildung 4-6 dargestellt.

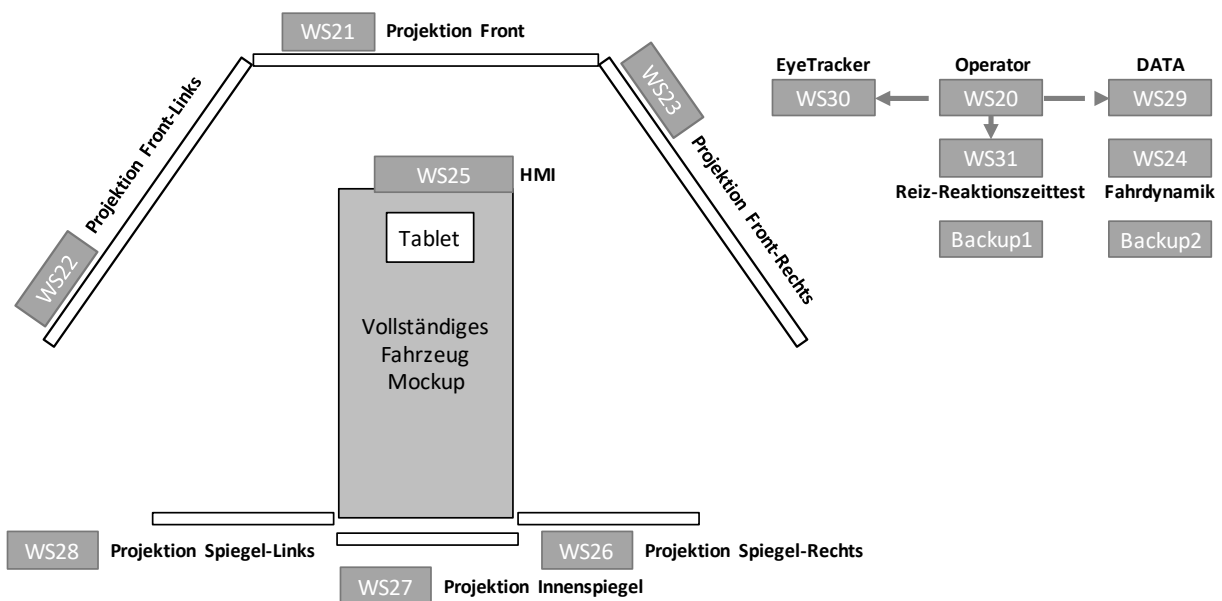


Abbildung 4-6: Schematischer Versuchsaufbau aus der Vogelperspektive mit kurzer Beschreibung der entsprechenden Workstationaufgaben (WS) Aufgaben

Versuchsstrecke

Es gab verschiedene Anforderungen an die Beschaffenheit der Strecke für die Cover-Story. Zunächst musste diese lang genug sein, damit sich die Probanden an den Simulator sowie an das hochautomatisierte Fahren gewöhnen können. Da in der Literatur noch keine solche Fahrt untersucht wurde, konnte auf keine Referenzstrecken und deren Eigenschaften zurückgegriffen werden. Daher wurde nach eigenem Ermessen eine Dauer von 25 Minuten festgelegt, um den Versuchsteilnehmenden genügend Zeit zu geben, sich mit dem Simulator und den FFT vertraut zu machen.

Als weitere Anforderung wurden sich voneinander unterscheidende Streckenprofile in den Versuchsablauf implementiert. Daher wurden eine Stadt-, eine Überland- sowie eine Autobahnfahrt simuliert. Die Strecke wurde so gewählt, dass der Startpunkt in der Stadt liegt, diese nach etwa 5 Minuten verlässt und nach insgesamt 15 Minuten die Autobahnfahrt beginnt, welche knapp 10 Minuten andauert.

4.2.3 Messmethoden

Zur Identifikation relevanter FFT bei der Cover-Story-Studie wurde ein Videobeobachtungssystem eingesetzt. Insgesamt wurden drei Infrarot-Videokameras mit jeweils 720p Auflösung im Fahrzeuginnenraum positioniert. Mit Hilfe eines Multiviewers wurden die einzelnen Videokanäle zu einem 2x2-Videosignal (HD 1080 Auflösung) gebündelt und durch die Videoaufnahmekarte mit einer Aufnahmezeit von 60 Hz über die Software *OBS-Studio* aufgezeichnet. Zusätzlich zu den drei Videosignalen wird der von der Simulationsumgebung *Silab* erstellte Frontprojektionsvideokanal mit zusätzlichen Simulationsangaben, zum Beispiel mit der Simulationszeit und Probandenkennung sowie der aktuellen Vogelperspektive, eingespielt, siehe Abbildung 4-7.



Abbildung 4-7: Übersicht über das Videosignal: oben links: Ansicht des Versuchsteilnehmenden; oben rechts: Fußraumkamera; unten links: Ansicht Fahrerarbeitsplatz von hinten rechts; unten rechts: Frontprojektionssichtkanal mit weiteren Simulationskennwerten sowie rechts daneben die Vogelperspektive der aktuellen Verkehrslage

Eine Kodierung der ausgeführten FFT fand durch die Software *TaskObserver2* statt. Das Programm zeigt eine Reihe von Schaltflächen an, von denen jede eine FFT repräsentiert. Wenn ein Ereignis beobachtet wird, betätigt der Versuchsleiter die entsprechende Schaltfläche, um den zeitlichen Beginn FFT festzuhalten. Die Farbe der Schaltfläche zeigt den aktuellen Status an und wechselt wieder in den Ausgangszustand, wenn der Versuchsleiter die Taste zum Beenden der FFT erneut betätigt, siehe Abbildung 4-8.

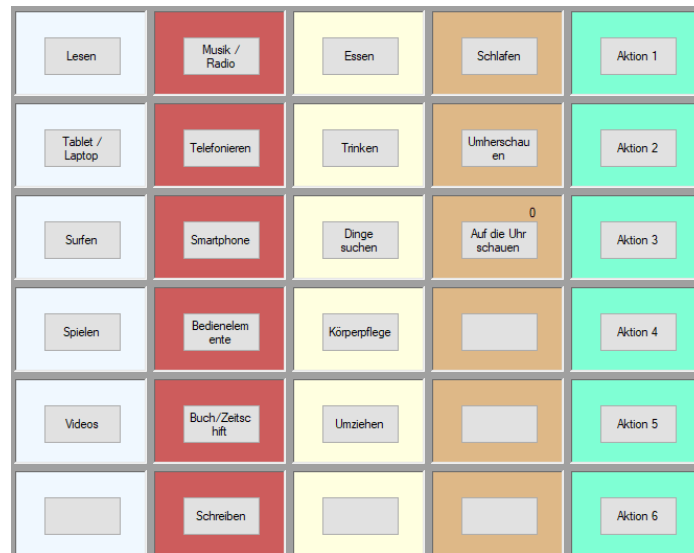


Abbildung 4-8: Screenshot der verwendeten Software *TaskObserver2.1*

4.2.4 Ethische Genehmigung

Die Ethikkommission der Technischen Universität Darmstadt hat die ethische Genehmigung für diese Studie erteilt. Die Antragskennung lautet EK 36/2018, siehe Anhang B.

4.2.5 Probandenkollektiv

Für die empirische Untersuchung müssen hinreichend viele Probanden akquiriert werden. Nach Bubb (2003) ist es erklärtes Ziel, technische Innovationen im Fahrzeugkontext an 30-50 Probanden zu testen. Darüber hinaus sind ab einer Versuchspersonenzahl von $N = \geq 30$ die Mittelwerte nach dem zentralen Grenzwerttheorem ausreichend normalverteilt (Döring & Bortz, 2016). Dies vereinfacht die statistischen Vergleiche bei der Auswertung ausschließlich parametrischer Tests.

Die Cover-Story-Studie erfolgte im September und Oktober 2018. Insgesamt nahmen $N = 30$ Personen an der Studie teil, welche von allen Teilnehmern erfolgreich abgeschlossen wurde. Von diesem Kollektiv gehörten 20 Probanden dem männlichen und 10 Probandinnen dem weiblichen Geschlecht an. Das Durchschnittsalter der Teilnehmer lag bei 27,9 Jahren ($\sigma = 7,0$ Jahren, Altersbereich von 21 bis 54 Jahren). Keiner der Probanden hatte je Vorerfahrungen mit hochautomatisierten Fahrzeugen gesammelt.

4.2.6 Ergebnisse

Zur Identifizierung der FFT, welche ein Fahrzeugnutzer während hochautomatisierter Fahrt ausführt, wurde das Probandenverhalten in einer Cover-Story-Fahrt beobachtet. Die Probanden wurden zu diesem Zweck in dem Glauben belassen, dass es sich um eine Fahrt zur Untersuchung des Rückübernahmeverhaltens während hochautomatisierter Fahrt handele.

Die meisten Studienteilnehmer verbrachten ihre Zeit damit, mit dem Tablet im Fahrzeug zu interagieren, ausgelegte Zeitschriften zu lesen oder ihr privates Smartphone zu benutzen. Vereinzelt wurde auch gegessen, getrunken und Musik gehört. Geschrieben oder telefoniert wurde sehr wenig bis gar nicht. In Abbildung 4-9 sind die Ergebnisse der Cover-Story-Studie im Detail dargestellt. Die Kategorisierung erfolgte hierbei nach Art und Anzahl der Probanden, die eine jeweilige FFT ausübten. Wenn ein Versuchsteilnehmer eine FFT öfters ausgeführt hat, wurde diese nur einmalig gewertet. Die Ergebnisse lassen sich in drei Gruppierungen aufteilen. Die im Balkendiagramm grün dargestellten Tätigkeiten sind jene, welche von mehr als 50 % der Probanden ausgeführt wurden. Die zweite Gruppierung, im Diagramm blau eingezeichnet, sind Tätigkeiten, welche von weniger als 50 %, jedoch mehr als 10 % der Probanden ausgeführt wurden. Die letzte Gruppierung bezieht sich auf FFT, die von maximal 10 % des Personenkollektivs ausgeführt wurden. Auf diesen Ergebnissen beruht die Auswahl der im weiteren Verlauf zu untersuchenden FFT, siehe auch Kapitel 4.3.

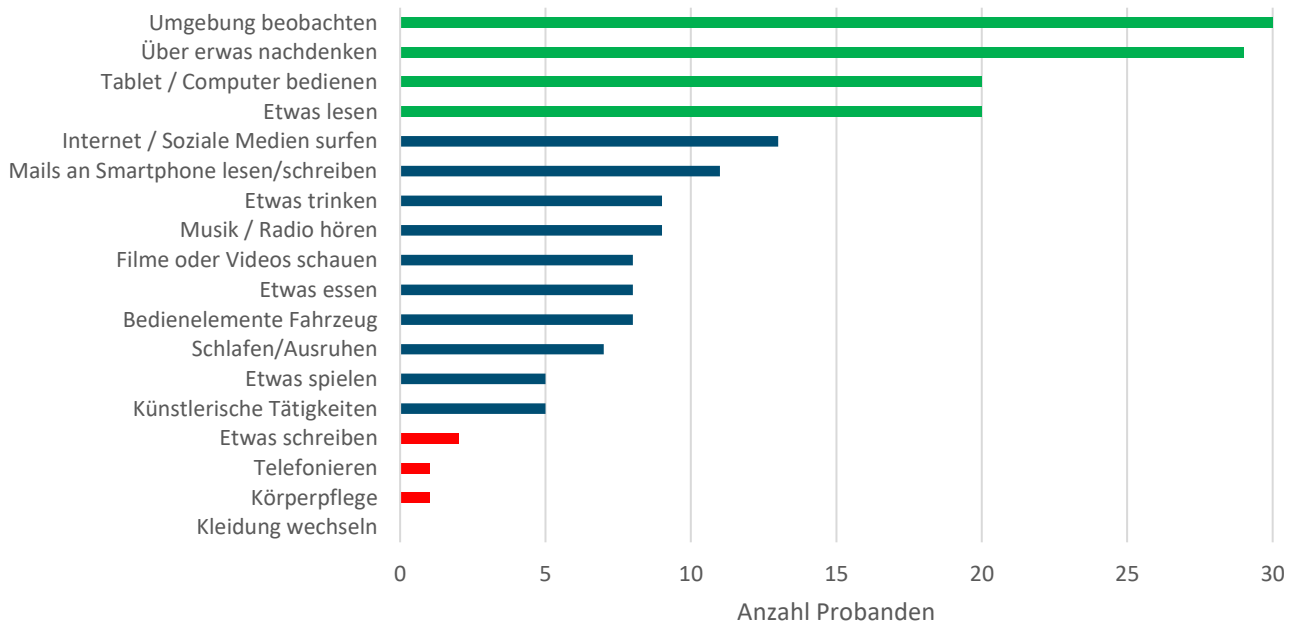


Abbildung 4-9: Ergebnisse der Cover-Story-Studie. Anzahl der Personen die eine FFT ausgeführt haben N = 30

Dabei konnte festgestellt werden, dass alle Probanden in den ersten Versuchsminuten vorwiegend die Strecke beobachteten und gezielt die aktuelle Verkehrslage analysierten, siehe Abbildung 4-9. Das gezielte Beobachten der Fahrt nahm im weiteren Verlauf ab und Personen fingen an, sich mit den zur

Verfügung stehenden FFT zu beschäftigen. Der zeitliche Verlauf der Anzahl und Art der ausgeführten FFT ist in Abbildung 4-10 dargestellt. Insbesondere wurde das Tablet benutzt, um Aktivitäten auszuführen, die vorwiegend der Unterhaltung dienen, wie z.B. Texte lesen, in sozialen Medien surfen, Musik hören oder Videos schauen. Führten die Versuchspersonen keine Tätigkeit aktiv aus, wurde dies als *Über etwas nachdenken* kategorisiert. Dabei können pro Person mehrere FFT gleichzeitig ausgeführt werden, beispielsweise Musik hören und gleichzeitig essen. Hierbei ist insbesondere zu erkennen, dass sich die Versuchspersonen in den ersten Minuten mit weniger FFT beschäftigen, sondern vor allem die Fahrt beobachten. Im weiteren Verlauf werden kontinuierlich mehr und mehr FFT durchgeführt. Bei etwa 8 Minuten stellt sich eine Sättigung ein und es werden keine weiteren FFT durchgeführt.

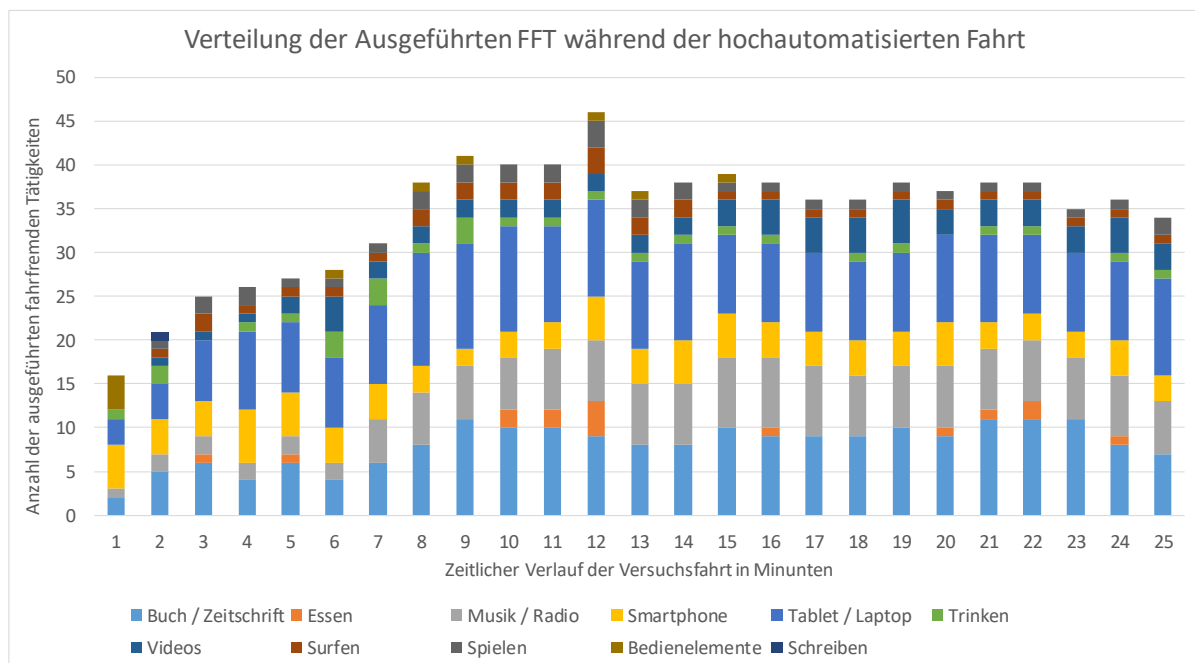


Abbildung 4-10: Ergebnisse der Cover-Story-Studie. Anzahl der ausgeführten FFT über den zeitlichen Verlauf N = 30 (TaskObserver2.1), gleichzeitige Ausführung mehrerer FFT möglich

4.3 Weiter zu untersuchende FFT

Die aus der Literatur abgeleiteten FFT wurden mit Hilfe einer Onlineumfrage aufgrund ihrer Ausführungspräferenz während hochautomatisierter Fahrt bewertet. Die FFT, welche eine hohe Nutzungshäufigkeit aufwiesen, wurden anschließend in einer Cover-Story-Fahrsimulator-Studie den unvoreingenommenen Probanden zur Verfügung gestellt. Die von den Teilnehmern am häufigsten genutzten FFT werden nachfolgend für diese Untersuchung als relevant eingestuft und für die Hauptstudie verwendet. Dabei wurde darauf geachtet, dass sie sich hinsichtlich ihrer physiologischen Belastungsmodalitäten unterscheiden. Die weiter zu untersuchenden Tätigkeiten lauten:

- Text lesen (kurz Lesen)
- Radioreportage hören (kurz Hören)
- Video schauen (kurz Video)
- Texting
- Fahrt beobachten

Um die Ausführung von natürlichen FFT während hochautomatisierter Fahrt zu gewährleisten, wurde im Versuchsfahrzeug ein Tablet an der Position, an der sich typischerweise das zentrale Informationsdisplay befindet, positioniert, siehe Abbildung 4-1. Die auf dem Tablet Huawei MediaPad PRO 10,8“ wiedergegebenen Inhalte wurden mittels Fernwartung Software *ultraVNC* vom Versuchsleiter gesteuert.

Lesen

Bei der FFT *Lesen* wurde zunächst die Auswahl getroffen, welche Textart für die Untersuchung am besten geeignet ist. Da das Interesse der Testperson vom Inhalt des Texts abhängt, wurden drei verschiedene Artikel ausgewählt. Fachspezifische Artikel wurden hier bewusst ausgeschlossen, da die Testpersonen aus verschiedenen Fachrichtungen und Bildungsschichten entstammen. Die Artikel wurden aus Exemplaren des GEO-Magazins entnommen und behandeln unterschiedliche Themengebiete (vgl. Lehmann (1994); Schröder und Meister (1994); A. Wolfers und Pillitz (1994)). Es wurde darauf geachtet, den Text in ausreichender Schriftgröße auf dem Tablet im Innenraum wiederzugeben (ca. 150 Wörter pro Seite).

Die Artikellängen wurden so gewählt, dass auch schnelle Leser den Text nicht vor Ablauf der vorgegebenen Zeit zu Ende lesen und somit die verbleibende Zeit nicht zur Beobachtung des Verkehrs nutzen konnten. Andernfalls bestünde eine gewisse Restwahrscheinlichkeit, dass sich dies negativ auf den anschließenden Messungen wie der Rückübernahmefähigkeit oder die Situationsbewusstseinsmessung auswirken könnte.

Hören

Für die FFT *Hören* wurde eine Radioreportage ausgewählt, die ähnlich wie die FFT *Lesen* keine fachspezifischen Kenntnisse verlangt und für jede Testperson verständlich ist. Der Mitschnitt stammt von einem Internet-Reiseanbieter und handelt von dem Reiseziel Südafrika (Abendteuer Südafrika, Avigo, <<https://www.podcast.de/podcast/11326/>>, letzter Zugriff 09.03.2020). Während der Reportage werden zu verschiedenen Inhalten Personen interviewt. Die Inhalte beziehen sich auf Sportaktivitäten, Attraktionen, Restaurants, Bars und Naturerlebnisse.

Die Wiedergabe erfolgte über die im Fahrzeug verbauten Lautsprecher und hatte eine Maximallautstärke von ca. 60 dB(A).

Video

Bei der Auswahl der FFT *Video schauen* wurden Filme und Serien ausgeschlossen, um zu vermeiden, dass die Probanden diese bereits kennen. Aus den genannten Gründen wurde auf das Wissenschaftsmagazin *nano* (3sat) vom 19. September 2018 zurückgegriffen (<<http://www.3sat.de/mediathek/?mode=play&obj=75903>>, letzter Zugriff 09.03.2020).

Das Video wurde auf dem Tablet mit einer ausreichenden Lautstärke (60 dB(A)) im Fahrzeuginnenraum abgespielt.

Texting

Um beim *Texting*, welches das Schreiben auf einem mobilen Endgerät meint, einen möglichst hohen Realitätsgrad zu erzeugen, wurde der Versuchsleiter mit in das Versuchsetting integriert. Auf dem im Fahrzeug befindlichen Tablet wurde hierfür ein Chatprogramm geöffnet, welches es der Versuchsperson ermöglichte mit dem Versuchsleiter am Operatorrechner zu kommunizieren. Dem Versuchsleiter stand eine Auswahl an Fragen zur Verfügung, die eine ausführliche Antwort erforderten (beispielsweise „Was würden Sie jemandem empfehlen, der Ihre Heimatstadt besucht?“). Diese Fragen erforderten eine längere Beantwortungsdauer, in der die Testperson in die Aufgabe vertieft war.

Fahrt beobachten

Viele Versuchsteilnehmer und Befragte der Onlinestudie gaben an, dass sie sich gerne mit der Tätigkeit *aus dem Fenster schauen* beschäftigen. Jedoch ist der Terminus FFT in diesem Zusammenhang möglicherweise missverständlich, da diese Tätigkeit keine fahrfremde, sondern im weiteren Sinne sogar eine Fahrtätigkeit widerspiegelt. Ferner soll diese Tätigkeit als eine Referenz zum teilautomatisierten Fahren nach Level 2 dienen und wurde ebenfalls in das Untersuchungskonzept integriert. Für einen besseren Lesefluss wird diese dennoch im Kontext der hochautomatisierten Fahrt als FFT bezeichnet. In diesem Setting wurden dem Probanden keine weiteren Tätigkeiten außer der reinen Beobachtung des Verkehrs dargeboten.

An dieser Stelle wird angemerkt, dass die Inhalte der ausgesuchten FFT ebenfalls einen Einfluss auf die mentale Beanspruchung aufweisen können. So können emotionale Sachverhalte oder auch sehr komplexe Themenstellung in einer höheren Beanspruchung resultieren. Bei der Versuchsvorbereitung wurde durch einen Pretest die Aufgabenschwierigkeit als angemessen bewertet. Für normierte Schwierigkeitsbedingungen können standardisierte Tests wie der SuRT (DIN ISO/TS 14198, 2019) oder n-Back (Kirchner, 1958) verwendet werden. Für einen hohen Übertrag in die Praxis wurde sich jedoch für naturalistische FFT entschieden. Eine Übersicht der untersuchten FFT ist in Tabelle 4-1 dargestellt.

Tabelle 4-1: Kurzzusammenfassung der untersuchten FFT

FFT	Text lesen	Hörbuch hören	Video schauen	Texting	Fahrt beobachten
Beschreibung	Drei Zeitschriftenartikel	Reisepodcast	Videomagazin	Chat-App mit Versuchsleiter	Keine Ausführung von FFT (Referenzmessung)
Darbietung	Tablet	Fahrzeuglautsprecher	Tablet und Fahrzeuglautsprecher	Tablet	-

5 Empirische Studie zu den Auswirkungen von fahrfremden Tätigkeiten

Nachdem die Untersuchungsmethodik und die Ergebnisse für die erste Forschungsfrage präsentiert wurden, werden in diesem Kapitel die Methodik (Kapitel 5.1) und die Forschungsergebnisse (Kapitel 5.2) der Hauptstudie sowie zu den Forschungsfragen 2 bis 4 vorgestellt.

5.1 Methodik

Da in der Hauptstudie die mentale Beanspruchung, das Situationsbewusstsein und die Rückübernahmefähigkeit während hochautomatisierter Fahrt bei gleichzeitiger Ausführung von FFT untersucht werden (vgl. Untersuchungsmodell in Kapitel 3), wird nachfolgend das methodische Vorgehen sorgfältig beschrieben, sodass eine hohe Rückwirkungsfreiheit zwischen den Messgrößen gewährleistet werden kann. Die Methodik der Hauptstudie teilt sich in folgende acht Unterkapitel auf. In Kapitel 5.1.1 werden die Grundlagen zur Kennwertdefinition erläutert und die Messmethoden ausgewählt. Da die verwendeten Messmethoden Anforderungen mit sich bringen, werden diese in Kapitel 5.1.2 im Versuchsdesign zusammengefasst. Die ethische Genehmigung für die Hauptstudie wird in Kapitel 5.1.3 sowie das Probandenkollektiv in Kapitel 5.1.4 vorgestellt. In Kapitel 5.1.5 wird die Versuchsumgebung und in Kapitel 5.1.6 die explizit verwendeten Messmethoden vorgestellt. Die Beschreibung der Datenaufbereitung und -auswertung erfolgt in Kapitel 5.1.7. Abschließend werden in Kapitel 5.1.8 die in Kapitel 3.2 aufgestellten Leithypothesen konkretisiert, indem sie in Unterhypothesen zusammengefasst werden.

5.1.1 Kennwertdefinitionen und Aussagegehalt

Mentale Beanspruchung

Um die Aufgabenschwierigkeit von FFT während der hochautomatisierten Fahrt und die daraus resultierende Beanspruchung zu erklären, sind unterschiedliche Beanspruchungsmessmethoden geeignet, vgl. Müller (2019). Ein Überblick über die in dieser Arbeit verwendeten Methoden ist in Abbildung 5-1 dargestellt und soll im Folgenden detaillierter erläutert werden.

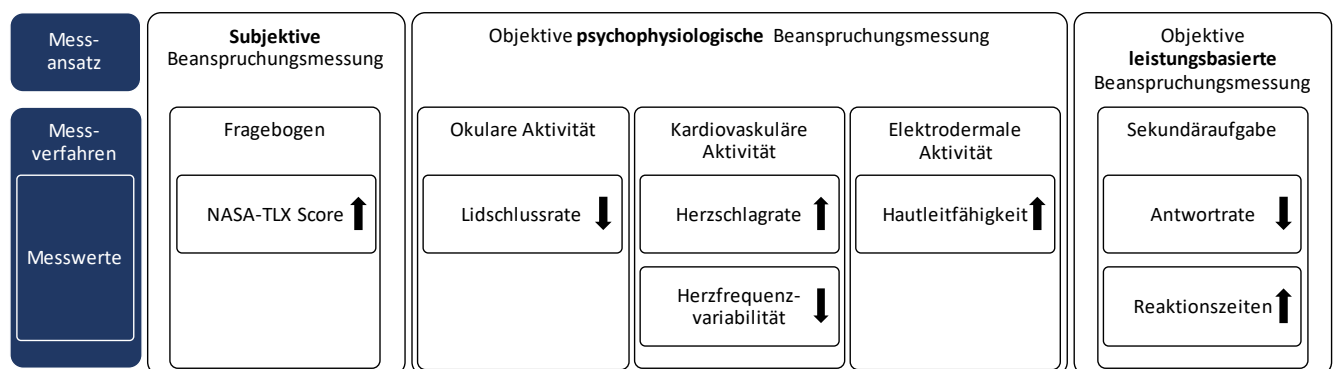


Abbildung 5-1: Übersicht der in dieser Arbeit verwendeten Beanspruchungsmessmethoden und Messwerte. Der Pfeil stellt einen Indikator zur Korrelationsrichtung des jeweiligen Messwerts und der mentalen Beanspruchung dar

Da die informatorische Aufgabenbelastung nicht direkt gemessen werden kann, werden nach DeWaard (1996) sowie O'Donnell und Eggemeier (1986) Messungen der mentalen Beanspruchung vorgeschlagen, um die Auswirkungen der menschlichen Kognitionen, welche von Aufmerksamkeit und Leistung beeinflusst wird, zu quantifizieren (vgl. Kapitel 2.1). Nach DeWaard (1996) und Schneider (2017) können Messansätze nach den folgenden Kriterien beschrieben werden: *Diagnostizität, Beeinflussung der Hauptaufgabe, Anwendungsaufwand, Nutzerakzeptanz, Reliabilität, Selektivität und Sensitivität*. Laut O'Donnell und Eggemeier (1986), DeWaard (1996) sind jedoch *Reliabilität, Sensitivität und Beeinflussung der Hauptaufgabe* die wichtigsten Kriterien zur Messung der mentalen Beanspruchung. Eine ausführlichere Beschreibung der einzelnen Aspekte kann in DeWaard (1996) nachgeschlagen werden. Um die mentale Beanspruchung gänzlich zu verstehen und mögliche Strategiewechsel der Benutzer festzustellen, wird empfohlen, mehrere Messansätze durchzuführen (DeWaard, 1996; O'Donnell & Eggemeier, 1986; Schwalm, 2009). Nachfolgend werden diese Messansätze vorgestellt.

Subjektive Beanspruchungskennwerte

Das *subjektive Maß* basiert auf der Annahme, dass die Befragten ihre mentale Beanspruchung und damit ihre Informationsverarbeitungskapazität am besten selbst bewerten können (Schwalm, 2009). Es gibt zwei Arten von subjektiven Messungen: Selbstberichte und (Experten-)Urteile. Bei diesen erfolgt die Beanspruchungsmessung durch eine Abfrage der subjektiv erfahrenen Beanspruchung. Problematisch ist jedoch, dass für die Messung der Aufgabenablauf unterbrochen werden muss oder die Befragung erst nach dem Experiment stattfinden kann, wodurch Verfälschungen auftreten können. Diese Bewertungen erfolgen in Form von Fragebögen oder (un)strukturierten Interviews. Subjektive Techniken beinhalten ein- oder mehrdimensional vordefinierte Bewertungsskalen. Eindimensionale Skalen geben einen Beanspruchungskennwert aus, während multidimensionale Skalen sich mit mehreren Faktoren befassen und eine detailliertere und sensitivere Bewertung ermöglichen. Subjektive mentale Beanspruchungsmessmethoden sind aufgrund ihrer praktischen Vorteile, beispielsweise die niedrigen Kosten - da keine Ausrüstung erforderlich ist - die hohe Benutzerfreundlichkeit und die große Empfindlichkeit gegenüber Beanspruchungsschwankungen beliebt. Mögliche Vorbehalte dieser Methodik sind irritierende Begrifflichkeiten und Einschränkungen des Kurzzeitgedächtnisses (O'Donnell & Eggemeier, 1986).

Nach Manzey (1998) und DeWaard (1996) ist es mit Hilfe subjektiver Beanspruchungsmessmethoden möglich, die vom Menschen selbst empfundene Beanspruchung zu erheben. Der *National Aeronautics and Space Administration Task-Load-Index (NASA-TLX)* nach Hart und Staveland (1988), die *Subjective Workload Assessment Technique (SWAT)* nach Reid und Nygren (1988) und das *Workload Profile (WP)* nach Tsang und Velazquez (1996) sind die am häufigsten genutzten subjektiven Methoden zur mentalen Beanspruchungsmessung. Der NASA-TLX weist nach Rubio, Diaz, Martin und Puente (2004) im

Vergleich zu SWAT und WP eine hohe Validität, Reliabilität und Benutzerakzeptanz sowie eine hohe Diagnostizität in dynamischen Umgebungen auf. Weiter zeigen die Studien von Estes (2015), dass der NASA-TLX eine hohe Sensitivität besitzt und als empfindlicher im Vergleich zu anderen subjektiven Bewertungsskalen gilt. Aufgrund dessen wird der NASA-TLX zur Erfassung der Beanspruchung in dieser Arbeit eingesetzt. Ein steigender Wert korreliert mit einer steigenden Beanspruchung.

Psychophysiologische Beanspruchungskennwerte

Die psychophysiologischen Maße beinhalten sowohl die Messung der physiologischen Reaktion von Menschen auf eine Aufgabenausführung als auch die Beziehung zwischen psychologischen Vorgängen und deren zugrundeliegenden physiologischen Eigenschaften (Sanders, 1983). Die physiologischen Reaktionen des Körpers werden durch das periphere Nervensystem autonom und damit unbewusst aktiviert.

Es wird zwischen *anabolen* und *katabolen Prozessen* unterschieden. Erstere stimulieren das *parasympathische* Nervensystem und hemmen das *sympathische* Nervensystem. *Katabole* Prozesse wirken dagegen in umgekehrter Weise (Schlick et al., 2018; Schneider, 2017; Wilson & Eggemeier, 1991). Das *sympathische Nervensystem* ist für die Beanspruchungsreaktion verantwortlich, während das *parasympathische Nervensystem* für Entspannungsreaktionen zuständig ist (O'Donnell & Eggemeier, 1986).

Die genannten Körperanpassungen können kurzfristig (*phasisch*), langfristig (*tonisch*) und dauerhaft (*chronisch*) sein. O'Donnell und Eggemeier (1986) geben einen detaillierten Überblick über die physiologischen Reaktionen des Nervensystems und deren Zusammenhänge. Diese hervorgerufenen Anpassungsprozesse benötigen kognitive Ressourcen und lösen daraufhin verschiedene physiologische Reaktionen aus, die den mentalen Beanspruchungszustand wiedergeben (Schneider, 2017). Nach Sanders Aktivierungstheorie (1983) (vgl. Kapitel 2.1) können über die Erfassung psychophysiologischer Maße Aussagen über die Aktivität getroffen werden, welche letztlich die Beanspruchung quantifizieren. In der Literatur finden sich psychophysiologische Messverfahren, mit denen aufgrund unterschiedlicher Körperreaktionen Rückschlüsse auf eine Beanspruchung gezogen werden können. Vorteile ergeben sich durch die kontinuierliche Messung sowie durch die geringe bis nicht vorhandene Beeinträchtigung der Aufgabenausführung (DeWaard, 1996; Manzey, 1998). Neben den genannten Vorteilen existieren aber auch Einschränkungen, da auch andere Einflüsse wie die körperliche Beanspruchung, Umgebungsbedingungen und der individuelle Zustand der Testperson die Messergebnisse beeinflussen. Wie von O'Donnell und Eggemeier (1986) und DeWaard (1996) empfohlen, werden zur Testung der mentalen Beanspruchung von FFT *okulare*, *kardiovaskuläre* und *elektrodermale* Beanspruchungsmessmethoden verwendet. Dabei erfolgt eine psychophysiologische Messung parallel zur Aufgabenausführung.

Die okulare Beanspruchungsmessung findet am menschliche Sehapparat statt. In der Literatur finden sich einige Kennwerte, wie beispielsweise die *Lidschlagrate*, die *Lidschlagdauer* und der *Pupillendurchmesser*, die bereits in Verbindung mit der mentalen Beanspruchung gebracht wurden (Kramer, 1991). Alle drei Parameter wurden zunächst für die Untersuchung herangezogen, jedoch wird aufgrund nicht plausibler Messwerte des zur Verfügung stehenden Messsystems im Folgenden nur auf die *Lidschlagrate* eingegangen.

Nach Cramon (1980) ist ein Lidschlag eine phasische, bilaterale Lidkontraktion unter Beteiligung der Ober- und Unterlider, welche in drei Phasen (Schließphase, Schlussphase und Öffnungsphase) unterteilt werden kann. In der Literatur wird darüber hinaus noch zwischen drei verschiedenen Lidschlagarten (willkürlich, unwillkürlich und reflexiv) unterschieden.

Ein willkürlicher Lidschlag kann bewusst vom Menschen gesteuert und für eine gewisse Dauer gehalten oder unterdrückt werden (Meinold, 2005). Ein unwillkürlicher Lidschlag beugt der Hornhautaustrocknung vor, indem Tränenflüssigkeit verteilt wird (Stern & Skelly, 1984). Durch äußere Reize, beispielsweise Licht, kann ein reflexiver Lidschlag zum Schutz des Auges ausgelöst werden (Meinold, 2005).

Nach Schmidt (2008) beträgt die durchschnittliche Lidschlagrate zwischen 8-24 Lidschlägen pro Minute. Stern und Skelly (1984), Wierwille, Rahimi und Casali (1985) entdeckten in ihren Untersuchungen bei einer erhöhten mentalen und oder visuellen Beanspruchung eine Abnahme der Lidschlagrate.

Mit einem Elektrokardiogramm (EKG) wird die elektrische Aktivität des Herzens über die Zeit aufgezeichnet. Für die Erfassung sind die R-Zacken relevant, welche den höchsten positiven Ausschlag im EKG-Signal beschreiben und durch eine Kontraktion der Herzkammer ausgelöst werden.

Die *Herzschlagrate* oder auch *Herzfrequenz* genannt, beschreibt die Schläge des Herzens pro Minute (bpm) als gemittelten Wert (Schandry, 2016). 60 – 80 bpm in der Ruhe sind typische Werte und können je nach Lebensalter und körperlicher Aktivität bis auf 200 Schläge bpm ansteigen. Die *Herzschlagrate* stellt eine zentrale kardiovaskuläre Größe dar, welche nicht nur auf energetische und thermische Belastungsarten reagiert, sondern auch nach Laborde, Mosley und Thayer (2017) auf emotionale Belastung sowie informatorische Arbeit.

Bei einer Beanspruchung nimmt der Einfluss des Sympathikus zu und die Herzschlagrate erhöht sich. Die parasympathische Aktivität führt zu einer Senkung der Herzschlagrate und ist bei einer geringeren Beanspruchung oder bei einer Ruhemessung zu beobachten (Fu et al., 2011; Mulder & Mulder-Hajonides, 1973).

Laut Hering (1999) ist die Bestimmung der Herzfrequenz zur Beanspruchungsmessung eine in Fahrversuchen typisch eingesetzte Methode, da sie eine geringe Anfälligkeit für Störungen (im Kontext: Artefakte genannt) besitzt und schnell einsatzbereit ist. Artefakte können durch zu locker sitzende

Elektroden, Bewegungen und tiefe Atmung verursacht werden. Auch im automobilen Kontext konnte bereits der Zusammenhang zwischen der Herzfrequenz und der kognitiven Aufgabenbelastung festgestellt werden, vgl. Mehler, Reimer und Wang (2011). Da die Herzschlagrate auch positiv auf einen Anstieg der körperlichen Belastung reagiert, wird in dieser Arbeit sichergestellt, dass die körperliche Belastung in den Versuchen weitgehend konstant gehalten wird.

Esco und Flatt (2014) empfehlen für eine Beurteilung der Herzschlagrate eine minimale Aufnahmezeit von 60 s, wobei Malik (1996) eine fünf-minütige Aufnahmezeit präferiert. Für eine bessere Vergleichbarkeit wird ein Within-Subjects Study Design empfohlen, bei dem jeder Proband jeden Versuchsdurchgang absolviert. Die genannten Aspekte werden im Versuchsdesign (vgl. Kapitel 5.1.2) berücksichtigt.

Neben der Herzschlagrate stellt auch die Herzfrequenzvariabilität (HRV) einen physiologischen Kennwert für die mentale Beanspruchung dar. Sie beschreibt die zeitlichen Schwankungen der Herzschlagrate über ein R-R-Intervall (Miller, 2001). Bei einer erhöhten Beanspruchung reduzieren sich die Unterschiede der R-R-Abstände und die HRV sinkt. Nach Fu et al. (2011), Mulder und Mulder-Hajonides (1973), Sammito und Böckelmann (2015) nimmt die HRV sowohl bei informatorischer als auch bei energetischer Belastung ab. Um auch feinste Veränderungen aufnehmen zu können, empfehlen Laborde et al. (2017) eine Abtastrate von 512 Hz. Die in der Literatur bekanntesten Kennwerte zur Beschreibung der Herzschlagratenvariabilität sind *SDNN*, *rMSSD* und *pNN50*.

Zur mathematischen Betrachtung stellt der *SDNN* Kennwert die Standardabweichung der R-R-Intervalle dar. Der *rMSSD* ist die Quadratwurzel des Mittelwerts der Summe aller quadrierten Differenzen zwischen benachbarten R-R-Abständen. Der *pNN50*-Kennwert basiert auf dem *NN50*-Kennwert, welcher die Anzahl der R-R-Intervallpaare angibt, die einen größeren Unterschied als 50 ms aufweisen.

Der Kennwert *rMSSD* ist nach Otzenberger et al. (1998) von nur wenigen Artefakten, wie beispielsweise der Atmung, abhängig und wird daher dem Kennwert *pNN50* gegenüber bevorzugt. Ferner zeigt insbesondere der *rMSSD* für Kurzeitmessungen des Elektrokardiogramms eine hohe Zuverlässigkeit (Malik, 1996; Munoz et al., 2015). Der *rMSSD*-Kennwert wird somit zur Erfassung der HRV für die vorliegende Arbeit gewählt.

Ein weiterer Indikator zur Bestimmung der kognitiven Beanspruchung basiert auf der Aktivität der Schweißdrüsen. Die elektrischen Leiteigenschaften der Haut verändern sich, wenn der Körper schwitzt. Durch die Messung der elektrodermalen Aktivität (EDA) kann so ebenfalls eine Beanspruchung objektiviert werden (Rigas, Katsis, Bougia & Fotiadis, 2008).

Die EDA kann sowohl passiv als auch aktiv gemessen werden. Während bei der passiven Messung geringe Ströme, die vom Körper selbst erzeugt werden, gemessen werden, wird bei der aktiven Messung eine

Spannung über zwei Elektroden angelegt, wobei die Haut als variabler Widerstand wirkt. Das resultierende Signal wird in Form von Leitfähigkeit ausgedrückt.

Das EDA-Rohsignal besteht aus tonischen Anteilen (skin conductance level, SCL), die das Grundniveau sowie Änderungen über längere Zeit wiedergeben und aus phasischen Anteilen (skin conductance response, SCR), die als konkrete Reaktion auf einen Einzelreiz entstehen (Boucsein, 2012). Die tonische Aktivität der EDA gibt den allgemeinen physiologischen Zustand einschließlich Erregung, Anstrengung und Aktivierungskomponenten wieder und steigt bei kognitiven Anstrengungen (Barry, Clarke, McCarthy, Selikowitz & Rushby, 2005).

Im Gegensatz dazu ist der phasische Anteil das Ergebnis eines externen Reizes. Ein bis zwei Sekunden nach einem externen Stimulus steigt dieser innerhalb von fünf Sekunden an. Um Artefakte zu vermeiden wird daher empfohlen, dass die Elektroden an einem ruhenden Körperteil mit einer hohen Schweißdrüsenanzahl, wie beispielsweise der Fußinnenfläche, zu platzieren sind (DeWaard, 1996).

Um die elektrodermale Aktivität zu bestimmen, ist ein Referenzwert erforderlich, welcher typischerweise ein Durchschnitt des tonischen Anteils ist. Da der EDA-Wert von Faktoren, wie beispielsweise Temperatur, Atmung, Feuchtigkeit, Alter, Geschlecht, Erregung und Emotionen beeinflusst werden, sollten diese Größen nach Möglichkeit konstant gehalten werden (Boucsein, 2012).

Leistungsbasierte Beanspruchungskennwerte

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die mentale Beanspruchung durch *Leistungsmaße* zu ermitteln. Die *Leistungsmaße* bestimmen die Leistung der ausgeführten Hauptaufgabe.

DeWaard (1996) entwickelte ausgehend von der invertierten U-Funktion der optimalen Erregung von Yerkes und Dodson (1908) ein Modell, welches die mentale Beanspruchung und die Leistungserfüllung zusammenführt, siehe Abbildung 5-2. Ferner zeigt das Modell, dass es wichtig ist, Extrema von zu wenig oder zu viel Beanspruchung zu vermeiden, da dies auch mit Leistungseinbußen verbunden ist.

Nach dem Modell führen Tätigkeiten mit sehr geringer Aufgabenanforderung (Bereich D) zu einer Unterforderung, was wiederum in einer geringen Leistung resultiert. Die Leistung im Bereich A2 wird als optimal eingestuft, wenn der Mensch die Aufgabenanforderung leicht bewältigen kann. In den Regionen A1 und A3 ist die Leistung nicht beeinträchtigt, jedoch muss der Mensch den Aufwand erhöhen, um den Aufgabenanforderungen gerecht zu werden. Nach Brookhuis und DeWaard (2001, S. 322) ist mentale Anstrengung (Effort) von mentaler Beanspruchung (Workload) wie folgt zu unterscheiden: „Effort is a voluntary process under control by the operator, whereas mental workload is determined by the interaction of operator and task“. Wenn die Aufgabenanforderungen zu hoch ansteigen und der mentale Aufwand nicht aufrechterhalten werden kann, sinkt die Leistung (Bereich B). In Region C führt die sehr hohe Aufgabenanforderung zu einer Überlastung oder Ermüdung, was ebenfalls in einer geringen Leistung resultiert.

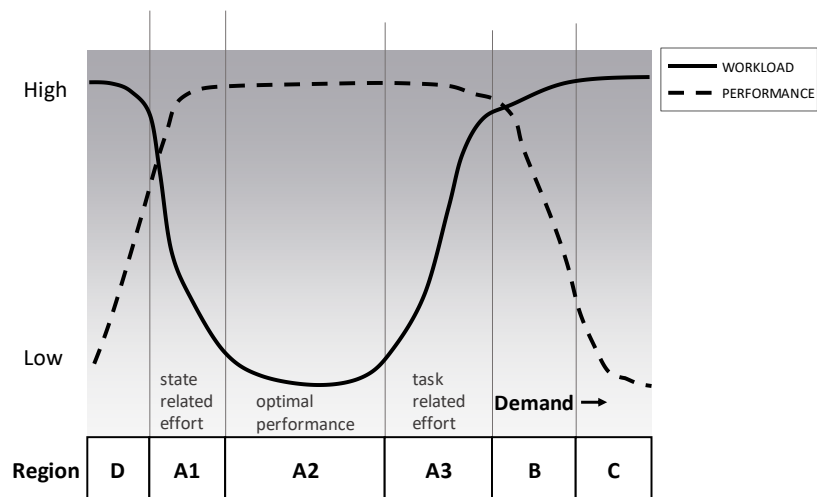


Abbildung 5-2: Beanspruchung und Leistungserfüllung nach DeWaard (1996)

Leistungsmaße lassen sich in *Primär-* und *Sekundäraufgaben* unterteilen. Durch die Vielfalt an möglichen Primäraufgaben (z.B. Matheübungen, Texte verfassen), ist die Messung der Leistung sehr aufgabenspezifisch und lässt einen Vergleich zwischen verschiedenen Aufgaben oder Systemen nur mit einem gewissen Mehraufwand zu. Typische Leistungsmaße stellen beispielsweise Reaktionszeiten, der prozentuale Anteil korrekter Antworten in einem Quiz, bzw. in einer Fahrsituation die Längs- und Querverführung des Autos auf der Spur, die Geschwindigkeit und der Lenkwinkel dar. Zum Beispiel zeigt sich bei Engström, Johansson und Östlund (2005), dass Fahrer, die bei manueller Fahrt eine weitere kognitive Sekundäraufgabe ausführen, eine geringere Fahrstreifenabweichung haben und ihre Fahrspurposition besser halten konnten als diejenigen, die eine visuell-manuelle Sekundäraufgabe ausführten. Typische Leistungsparameter der Primäraufgaben sind bei manueller Fahrt die mittlere Geschwindigkeit, die Standardabweichung der Geschwindigkeit und oder der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug (Time-to-Collision).

Während hochautomatisierter Fahrt und der Betrachtung von FFT können diese fahrkontextbezogenen Kennwerte der Primäraufgabe jedoch nicht mehr herangezogen werden.

Um dennoch die mentale Beanspruchung durch Leistungsmaße zu messen, eignet sich die Messung der Reservekapazität einer Sekundäraufgabe, die simultan zur Primärtätigkeit ausgeführt wird. In der Literatur findet man üblicherweise Sekundäraufgaben wie Reaktionszeittests oder Zeitschätzungsaufgaben (Gunning, 1978). Ferner bietet die Verwendung der selben Sekundäraufgabe einen Beanspruchungsvergleich mehrerer verschiedener Primäraufgaben (Wickens, Hollands, Banbury & Parasuraman, 2016).

Weiterhin werden bei Sekundäraufgaben in der Literatur nach zwei Paradigmen unterschieden. Bei dem *Loading-Task-Paradigm* soll die Leistung der Sekundäraufgabe beibehalten werden, auch wenn es zu einer Abnahme der Leistung der Primäraufgabe kommt.

Innerhalb des zweiten Paradigmas, dem *Subsidiary-Task-Paradigm*, wird die Person angewiesen, Verschlechterungen bei der Ausführung der Hauptaufgabe auf Kosten der Nebenaufgabe zu vermeiden. In Abhängigkeit der Primäraufgabenanforderung werden mehr oder weniger Ressourcen von dieser in Anspruch genommen. Aufgrund der Tatsache, dass Ressourcen lediglich begrenzt vorhanden sind (vgl. Kapitel 2.1.3), kann für die Bearbeitung der Sekundäraufgabe nur die Restkapazität genutzt werden, siehe Abbildung 5-3. Folglich variiert die Leistung der Sekundäraufgabe in Abhängigkeit der Aufgabenbelastung der Primäraufgabe. Ferner führt die Addition der Sekundäraufgabe zu einer kurzzeitigen Lastverschiebung im Modell von DeWaard (1996) von Region A nach Region B, sodass aus der Leistung der Sekundäraufgabe indirekt die Beanspruchung der Primäraufgabe geschlussfolgert werden kann (vgl. Abbildung 5-2).

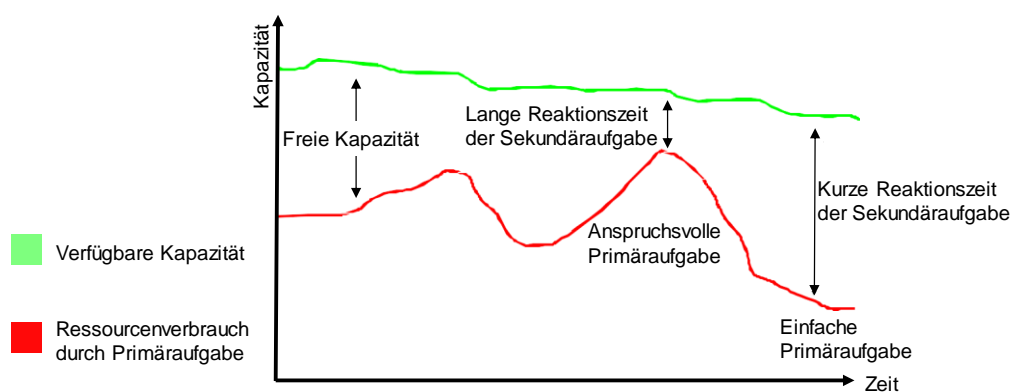


Abbildung 5-3: Verwendung von Sekundäraufgaben zur Messung von Kapazitätsreserven in Anlehnung an Farmer und Brownson (2003)

Darüber hinaus ist in Abbildung 5-3 ersichtlich, dass die Aufgabenbelastung in Form des Ressourcenverbrauchs einen schwankenden Verlauf darstellt. Die Aufgabenbelastung wird daher als Kontinuum und nicht als Konstante interpretiert (vgl. Laurig, 1992). Werden bei unterschiedlich komplexen Aufgaben keine Leistungsunterschiede bei der Sekundäraufgabe gemessen, kann dies darauf zurückzuführen sein, dass die Versuchsperson die Aufgabenpriorisierung falsch und zu Gunsten der Sekundäraufgabe gewählt hat (Wandel von Subsidiary-Task-Paradigm zum Loading-Task-Paradigm). Daher ist es grundlegend wichtig, die richtige Priorisierung der Primär- und Sekundäraufgabe zu wählen. Diese Priorisierung unterliegt der Kontrolle der Testperson und muss daher in der Versuchsanweisung erklärt werden.

Weitere Anforderungen der Sekundäraufgabe für gute Messergebnisse sind daher die kontinuierliche Messbarkeit, die Interferenz mit der Hauptaufgabe und ein geeignetes Anforderungsniveau (Schneider, 2017). Da die zu untersuchenden FFT unterschiedliche Wahrnehmungsmodalitäten aufweisen, wird ein multimodaler Reiz-Reaktionszeittest (Detection Response Task, DRT) nach DIN ISO 17488 (2016) unter Berücksichtigung des Subsidiary-Task-Paradigmas für diese Arbeit gewählt. Dabei muss die Versuchsperson motorisch auf Stimuli reagieren. Ein möglicher Nachteil dieser Sekundäraufgabenmethode ist die Erhöhung der Beanspruchung durch den Reiz-Reaktionszeittest

selbst, da dieser als eigenständige Belastung zu bewerten ist. Auch wenn die informatorische Verarbeitungsanforderung des Reiz-Reaktionszeittests als minimal angesehen werden kann und schnell zu erlernen ist, kann nicht ausgeschlossen werden, dass der Reiz-Reaktionszeittest die gleichzeitige Messung psychophysiologischer Daten verzerrt. Obwohl Stojmenova und Sodnik (2018) in ihrer Studie keinen psychophysiologischen Unterschied mit oder ohne Reiz-Reaktionszeittest feststellen konnten und damit nahelegen, dass der Reiz-Reaktionszeittest keine zusätzliche mentale Belastung darstellt, wird dennoch das Versuchsdesign (vgl. Kapitel 5.1.2) dementsprechend angepasst. Dadurch wird gewährleistet, dass es bei der psychophysiologischen Beanspruchungsmessung zu keiner Verfälschung aufgrund der zusätzlichen Reiz-Reaktionszeittest-Belastung kommt und die Daten unabhängig und somit Rückführungsfrei erhoben werden können.

Nach DIN ISO 17488 (2016) wird der Reiz-Reaktionszeittest genutzt, um die Aufmerksamkeit beim Autofahren und der zeitgleichen Ablenkung zu messen. Nach Schlussfolgerungen von Conti-Kufner (2017) sowie Bruyas und Dumont (2013) kann mittels Reiz-Reaktionszeittest unter Berücksichtigung des Wickens-Modells (2002) die mentale Beanspruchung, wie beispielsweise die einer FFT, gemessen und verglichen werden.

Situationsbewusstsein

Nachdem in Kapitel 2.5 das Konstrukt Situationsbewusstsein beschrieben wurde, sollen nachfolgend verschiedene Messmethoden vorgestellt und die verwendete Methode ausgewählt werden.

Da unter dem Begriff Situationsbewusstsein eine korrekte und umfassende Situationswahrnehmung sowie eine zeitlich adäquate Situationsinterpretation in einer komplexen Umgebungssituation verstanden wird, kann diese nicht ohne Weiteres gemessen werden (Rauch, 2009). In der Literatur finden sich verschiedene Ansätze, um das Situationsbewusstsein zu ermitteln (Endsley, 1995). Unter anderem werden indirekte Messmethoden, wie sie beispielsweise durch Prozess-, Verhaltens- und Leistungsmaße erfasst werden, genannt.

Als Prozessmaße werden alle Messmethoden bezeichnet, die sich auf Informationsaufnahme- und -verarbeitung beziehen. Verhaltensmaße, wie sie z.B. durch Beobachtungsbewertungen von Experten entstehen, können keinen Anspruch auf eine genaue Bestimmung des Situationsbewusstseins erheben, da sie weiteren Einflussfaktoren neben diesem unterliegen können. Anhand der Leistungserfüllung kann wiederum ein Rückschluss auf das vorhandene Situationsbewusstsein gezogen werden. Die Leistung korreliert jedoch nicht grundsätzlich mit dem Situationsbewusstsein, da selbst bei gutem Situationsbewusstsein falsche Handlungen entstehen können. Umgekehrt können wiederum bei schlechtem Situationsbewusstsein sehr gute Leistungen erbracht werden, was eine Gleichsetzung von Leistung und Situationsbewusstsein ausschließt (Kokar & Endsley, 2012).

Des Weiteren können direkte subjektive und objektive Messmethoden unterschieden werden. Die Situation Awareness Rating Technique (SART) von Taylor (1990) ist eine der bekanntesten direkten

subjektiven Messmethoden. Die Quantifizierung erfolgt durch die subjektive Beantwortung von drei beziehungsweise zehn Fragen auf einer siebenstufigen Likert Skala. Weitere subjektive Methoden sind die Cranfield Situation Awareness Scale (C-SAS) von Dennehy (1997) und die Situation Awareness Rating Scale (SARS) von Houck und Waag (1994), welche allesamt ihren Ursprung in der militärischen Luftfahrt haben. Ein Nachteil der subjektiven Verfahren ist die verbale Antwortübergabe, die eine zusätzliche Belastung zur Hauptaufgabe darstellt.

Als objektives direktes Messverfahren ist die Situation Awareness Global Assessment Technique (SAGAT) von Endsley (1988a) zu nennen, welche die direkte Messung aller drei Ebenen des Situationsbewusstseins ermöglicht. Diese Methode kann nur im Simulator angewendet werden, da die Simulation für die Messung pausiert und ausgeblendet werden muss. Im Anschluss daran werden der Testperson Fragen gestellt, die sich auf die zuvor erlebte Situation beziehen. Je mehr Fragen prozentual richtig beantwortet werden, desto höher ist das gemessene Situationsbewusstsein. Obwohl SAGAT dafür kritisiert wird, dass es das Situationsbewusstsein nicht kontinuierlich, sondern intermittierend misst und sich stark auf Gedächtnisleistungen stützt (Durso, Bleckley & Dattel, 2006), befürworten Loft et al. (2015) und Salmon et al. (2009) SAGAT, da die zu untersuchende Tätigkeit nicht verzerrt wird. Endsley (2000a) berichtet, dass das Verfahren eine valide Messung ermöglicht und das am weitesten verbreitete Standardinstrument zur Situationsbewusstseinsmessung ist.

Da im Versuch einerseits die Beanspruchung ermittelt und diese durch die Situationsbewusstseinsmessung nicht verzerrt werden soll und andererseits subjektive Methoden den Nachteil durch falsche Selbst- oder Experteneinschätzungen aufweisen, wird in dieser Arbeit das objektive SAGAT-Messverfahren eingesetzt.

Obwohl dieses Verfahren eigentlich aus der Luftfahrtforschung stammt, wurde es zum Beispiel von Barbé und Stephane (2009) auf den Fahrzeugbereich angewandt. Ferner evaluierten bereits erste Untersuchungen von Franz et al. (2015) sowie Wulf, Zeeb, Rimini-Doring, Arnon und Gauterin (2013) die SAGAT-Methode im Kontext teilautomatisierten Fahrens.

Rückübernahmefähigkeit

Während hochautomatisierter Fahrt muss der Fahrzeugnutzende in der Lage sein, zu jedem Zeitpunkt einer RÜA des Systems Folge leisten zu können und die Fahrzeugführung zu übernehmen (Gasser et al., 2012). Der Aspekt der Rückübernahmefähigkeit ist daher als einer der wichtigsten Kriterien der arbeitswissenschaftlichen Untersuchung während hochautomatisierter Fahrzeugführung zu erachten. Wie bereits in Kapitel 2.2.2 und in Kapitel 2.6 beschrieben, gibt es diesbezüglich bereits zahlreiche Forschungsarbeiten zu möglichen Einflussfaktoren auf die Rückübernahmefähigkeit.

In dieser Arbeit werden unter dem Begriff der Rückübernahmezeit, in Anlehnung an das von Zeeb (2016) entwickelte Rückübernahmemodell (vgl. Kapitel 2.2.2), die beiden Bewertungsparameter *Zeit bis erster*

Blick auf die Straße und die formale Übernahme in Form der *minimalen Rückübernahmezeit* betrachtet. Beide Zeitwerte sind abhängig vom Start der RÜA.

Die Kennzahl *Zeit bis erster Blick auf die Straße* hat sich bereits in vielen Studien etabliert. So untersuchten Gold et al. (2015) die Reaktionszeit zwischen einer RÜA und der ersten Blickabwendung von der FFT. Othersen, Petermann-Stock, Schoemig und Fuest (2017) haben die zeitliche Differenz zwischen der RÜA und dem Zeitpunkt bis zum ersten Blick in einen der beiden Seitenspiegel gemessen. Zeeb, Buchner und Schrauf (2016) untersuchten die zeitliche Differenz des Zeitpunkts zwischen RÜA und dem ersten Blick auf die Straße.

Da der kontrollierende Spiegelblick in der Probandenstudie selten festzustellen war, wird für die Auswertung der Kennwert *Zeit bis erster Blick auf die Straße* als Zeitdifferenz zwischen dem Start der RÜA und dem ersten Blick durch die Windschutzscheibe definiert.

Der bei der Untersuchung der Rückübernahmezeit meistverwendete Kennwert ist die formale *Rückübernahmezeit* (vgl. Kapitel 2.2.2). Diese ist die zeitliche Differenz zwischen dem Start der RÜA und dem Eingreifen in die Fahrzeugführung und berechnet sich aus dem Minimalwert des *Lenk-* oder *Bremseingriffs*. In den untersuchten Literaturstudien haben sich kritische Übernahmewerte etabliert, ab welchen von einem Eingriff gesprochen werden kann. Ein *Bremseingriff* wurde als solcher gewertet, wenn die Bremspedalstellung um mindestens 10% ausgelenkt wurde (vgl. Gold et al. (2013), Radlmayr et al. (2019)). Für den *Lenkeingriff* hat sich eine Änderung des Lenkwinkels von mindestens 2° bzw. 3° als angemessen herausgestellt (vgl. Jarosch, Kuhnt, Paradies und Bengler (2017), Müller et al. (2018), Othersen et al. (2017)). Kürzere Reaktionszeiten korrelieren generell mit einer besseren Rückübernahmefähigkeit.

Anhand dieser Parameter lässt sich jedoch noch keine Aussage dazu treffen, ob diese Übernahme auch in ihrer Güte adäquat verläuft. Ein schnelles Auslenken des Lenkrads spricht zwar für eine gute Reaktionszeit, jedoch kann dies beispielsweise zu möglichen Kollisionen führen. Hierfür werden im Folgenden weitere Parameter zur *Rückübernahmequalität* vorgestellt.

Ein Konsens über die Bestimmung der Rückübernahmequalität hat sich bisher noch nicht gebildet. Dies liegt unter anderem daran, dass eine Vielzahl verschiedener Straßenverkehrssituationen existiert, die sich nicht mit einem einzelnen Messwert abdecken lassen. Beispielsweise kann im Fall einer plötzlich auftretenden Gefahrensituation eine Vollbremsung im Stadtszenario als gute Rückübernahmequalität gewertet werden. Bei einer Autobahnfahrt würde hingegen eine solche Vollbremsung ein Sicherheitsrisiko darstellen und damit als eher schlechte Rückübernahmequalität erachtet werden.

Um dennoch Aussagen zur Rückübernahmequalität treffen zu können, werden in dieser Arbeit Bewertungsparameter betrachtet, die bereits in vergangenen Studien in Zusammenhang mit der Rückübernahmequalität gesetzt wurden.

Diese setzen sich aus dem Übernahmeverhalten in Form des Lenk- oder Brems Eingriffs, der Kollisionsanzahl, der *Time-to-Collision (TTC)* und der subjektiven Expertenbeurteilung mittels *Take-over Controllability (TOC) Rating* Verfahren zusammen.

Die Rückübernahmequalität wird als grundlegend schlecht eingeordnet, sobald es zu einer Kollision kommt. Verzögert der Fahrzeugnutzende stark, so wird dies mit einer schlechteren Rückübernahmequalität assoziiert (vgl. Gold et al., 2013).

Die TTC stellt das Zeitbudget in Sekunden dar, das dem Fahrzeugnutzenden bleibt, um eine Kollision durch einen Brems- oder Lenkeingriff zu verhindern. Sie setzt sich aus dem Quotienten der Relativgeschwindigkeit des eigenen Fahrzeugs und dem drohenden Kollisionsobjekt sowie dessen Entfernung zusammen. Um die minimale TTC berechnen zu können, muss jedoch noch der Zeitpunkt bestimmt werden, ab dem eine Kollision als ausgeschlossen gilt. Gold, Happee und Bengler (2018) berechnen die *minimale TTC* bis zu dem Zeitpunkt, an dem sich der Mittelpunkt des eigenen Fahrzeugs über die Fahrbahnmarkierung des Fahrstreifens, auf dem sich das Hindernis befindet, bewegt hat. Da in dieser Versuchsreihe die Mehrheit der Probanden die Fahrzeugführung durch einen Brems Eingriff übernahmen, wird der Zeitpunkt der Übernahme für die TTC Berechnung herangezogen. Eine größere *minimale TTC* steht dabei in Korrelation mit einer steigenden Sicherheit und somit einer höheren Qualität der Rückübernahme (Gold et al., 2015).

Wie bereits zu erkennen ist, lassen objektive Daten in diesem Fall einen gewissen Interpretationsspielraum zu, da beispielsweise eine spätere Reaktionszeit, hervorgerufen durch eine längere Beobachtung der Verkehrssituation, eine bessere Übernahmequalität nicht ausschließt. Daher wurde von Naujoks und Wiedemann et al. (2018) ein subjektives Beurteilungsverfahren zur Fahraufgabenübernahme (*Take-over Controllability, TOC*) entwickelt. Dieses standardisierte Bewertungsschema ermöglicht es, verschiedene menschliche Handlungen bei der Übernahme in eine Kennziffer zu überführen. Dies geschieht indem vor, während und nach der Transition zur manuellen Fahrzeugsteuerung Videomaterial im Fahrzeuginnenraum sowie Daten des Verkehrsszenarios nach einem standardisierten Schema kodiert werden. Die zu untersuchenden Parameter sind unter anderem die Bremsreaktion, das Längs- und Querführungsverhalten, aber auch die sichtbaren Emotionen und die generelle Fahrzeugbedienung. Eine 1 steht im Kodierungsschema für eine fehlerfreie Rückübernahme. Kommt es zu einer *Kollision* oder einem ähnlich schweren Versagen in der Rückübernahme, wird dies mit einer 10 bewertet.

In dieser Arbeit werden alle vorgestellten Kennwerte zur Untersuchung der Rückübernahmequalität herangezogen, um den Interpretationsspielraum einer Kenngröße zu reduzieren und so ein ganzheitliches Bild der jeweiligen Übernahme zu erzeugen.

Zusammenfassung der zu untersuchenden Kennwerte

Nachfolgend werden alle betrachteten Kennwerte als abhängige Variablen sortiert sowie nach dem zu untersuchendem Konstrukt, der Einheit und einer kurzen Beschreibung in Tabelle 5-1 zusammengefasst.

Tabelle 5-1: Zusammenfassung der verwendeten Kennwerte in Abhängigkeit von den jeweils analysierten Konstrukten.

Konstrukt	Abhängige Variable	Einheit	Beschreibung
Menschliche Beanspruchung	<i>Subjektives Empfinden:</i> NASA-TLX Gesamt (gewichtet)	[-]	Subjektives Beanspruchungsmessverfahren basierend auf sechs Fragen und einem 15-fachen Paarvergleich. Steigt mit mentaler Beanspruchung an.
	<i>Subjektives Empfinden:</i> NASA geistige Anforderung	[-]	Betrachtung einer spezifischen Dimension des subjektiven Beanspruchungsmessverfahrens. Steigt mit mentaler Beanspruchung an.
	<i>Psychophysiologisch:</i> Lidschlagrate	[bpm]	Psychophysiologisches Messverfahren, um zu bestimmen, wie viele Lidschläge durchschnittlich pro Minute erfolgen. Die Lidschlagrate sinkt mit ansteigender mentaler Beanspruchung.
	<i>Psychophysiologisch:</i> Herzschlagrate (meanRR)	[bpm]	Psychophysiologisches Messverfahren zur Bestimmung der Herzaktivität. Diese steigt vor allem durch körperliche, aber auch informatorische Belastung.
	<i>Psychophysiologisch:</i> Herzfrequenzvariabilität (rMSSD)	[ms]	Die Herzfrequenzvariabilität (HRV) drückt die Änderungsrate der Herzfrequenz aus. Die HRV sinkt mit steigender mentaler Beanspruchung.
	<i>Psychophysiologisch:</i> Hautleitfähigkeit (SCL)	[μS]	Der psychophysiologische Messwert gibt die Fähigkeit der Haut wieder, elektrischen Strom zu leiten. Er wird in langfristige tonische und kurzfristige phasische Anteile unterschieden. Der Hautleitwert steigt mit mentaler Beanspruchung an.
	<i>Leistungsbasiert:</i> Primäraufgabe	[%]	Prozentualer Anteil der richtig beantworteten Fragen zu den FFT <i>Lesen, Hören</i> und <i>Video schauen</i> .
	<i>Leistungsbasiert:</i> Sekundäraufgabe - Antwortrate	[%]	Leistungsbasierter Kennwert der die prozentuale Anzahl von Antworten auf ausgesendete Reize angibt. Die Antwortrate sinkt mit der mentalen Beanspruchung.
Situations- bewusstsein	<i>Leistungsbasiert:</i> Sekundäraufgabe - Reaktionszeit	[ms]	Die Reaktionszeit zwischen Stimulibeginn und motorischer Antwort wird als Reaktionszeit bezeichnet. Je länger die Reaktionszeit, desto größer die mentale Beanspruchung.
	SAGAT-Wert	[%]	Mittels SAGAT-Methode wird die aktuelle Verkehrssituation plötzlich pausiert und ausgeblendet (Endsley, 1995). Nach dem plötzlichen Ausblenden wird der Fahrer über die Verkehrssituation mittels Fragebogen abgefragt.
Rückübernahmefähigkeit	<i>Rückübernahmezeit:</i> Zeit bis erster Blick auf die Straße	[s]	Zeitspanne zwischen RÜA und dem ersten Blick auf die Straße.
	<i>Rückübernahmezeit:</i> Minimale Rückübernahmezeit	[s]	Minimum aus Bremsbetätigung (Zeitspanne zwischen RÜA und einer Bremspedalbetätigung von mehr als 10%) und Lenkeingriff (Zeitspanne zwischen RÜA und einer Lenkwinkeländerung von mehr als 3 Grad absolut)
	<i>Rückübernahmequalität:</i> Übernahmeverhalten	[m/s ²]	Lenk- oder Bremsvorgänge des Fahrzeugsführers nach RÜA.
	<i>Rückübernahmequalität:</i> Kollision	[-]	Kollision des eigenen Fahrzeugs mit einem Hindernis.
	<i>Rückübernahmequalität:</i> Time-to-Collision	[s]	Minimales Zeitfenster bis zur Kollision mit Hindernis auf dem Fahrstreifen.
	<i>Rückübernahmequalität:</i> Take-over Controllability Rating	[-]	Subjektives Experten-Rating zur Beurteilung der Beherrschbarkeit von Übernahme-situationen während hochautomatisierter Fahrt. Mittels Videomaterial und auf Basis eines standardisierten Kodierbogens wird die Übernahme bewertet. Wertebereich zwischen 1-10, je geringer der Wert, desto besser die Übernahme.

5.1.2 Versuchsdesign und Versuchsdurchführung

Nachdem einige Messmethoden bestimmte Anforderungen an das Versuchsdesign gestellt haben, wie beispielsweise durch die Mindestmessdauer der kardiovaskulären Aktivität oder durch den separaten Messabschnitt für die Sekundäraufgabe ersichtlich wird, werden diese nachfolgend beschrieben.

Aufgrund der hohen Faktoranzahl der zu untersuchenden Konstrukte fiel die Entscheidung für eine abhängige Stichprobe im *Within-Subjects Study Design* (Charness, Gneezy & Kuhn, 2012). Hierbei führen alle Probanden die FFT in mehreren Durchgängen aus. Für jede zu untersuchende FFT (vgl. Kapitel 4.3) wird die Versuchsfahrt in drei Abschnitte unterteilt: 1) Beanspruchungsmessung, 2) Sekundäraufgabe und 3) RÜA. Jeder dieser drei Abschnitte endet mit einer von drei SAGAT-Messvarianten sowie einer anschließenden Befragung zum Situationsbewusstsein und zur Leistungserfüllung der FFT. Zur Situationsbewusstseinsmessung werden drei Varianten genutzt. Einerseits klassisch ohne Vorwarnzeit und andererseits zur Identifikation wie lange der Versuchsteilnehmende benötigt, um das Situationsbewusstsein aufzubauen mit zwei Vorwarnzeiten (kurz und lang). Hierfür wurde vor der eigentlichen SAGAT-Messung 2 bzw. 8 Sekunden eine informierende Warnung übermittelt. Die kurze Vorwarnzeit orientiert sich an kurzen Rückübernahmezeiten nach einer RÜA, wohingegen sich die lange Vorwarnzeit am Zeitbudget bisheriger Studien zur RÜA orientiert.

Nach dem Abschnitt zur Beanspruchungsmessung wurde zusätzlich bei der Befragung noch der NASA-TLX Fragebogen zur subjektiven Beanspruchungsmessung ausgefüllt, siehe Abbildung 5-4.

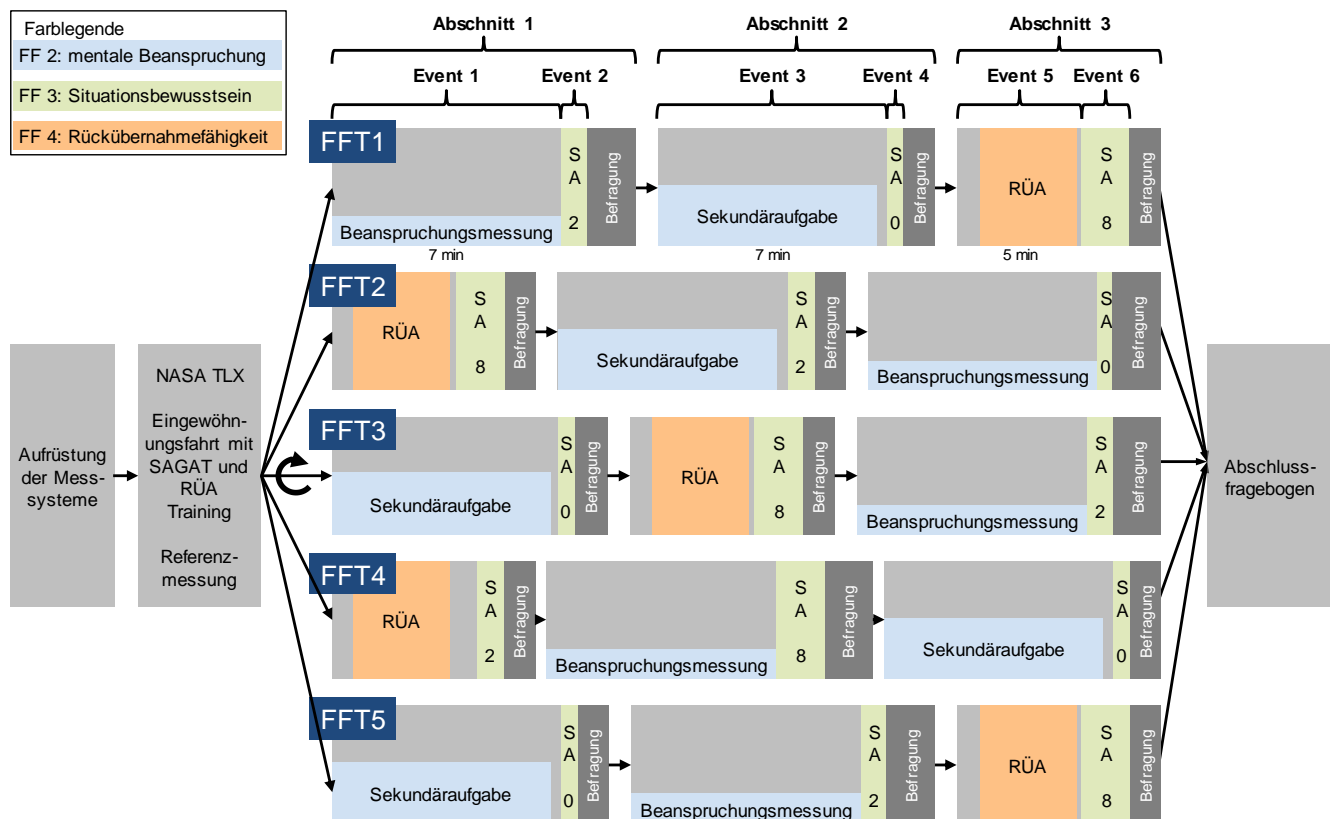


Abbildung 5-4: Angewandtes Versuchsdesign. Die Höhe der Events: Beanspruchungsmessung, Sekundäraufgabe und RÜA repräsentieren der Aufgabenbelastung zusätzlich zur FFT

Da nur die subjektiv wahrgenommene und die psychophysiologische Beanspruchung der FFT unter automatisierter Fahrt von Relevanz ist, kann diese nur in dem Abschnitt erfolgen, bei der keine weitere Sekundäraufgabe und keine Rückübernahmeaufforderung stattfindet. Insgesamt wurden somit fünf FFT in jeweils sechs Events und drei Befragungen unterteilt. Die erlebte Reihenfolge dieser sechs Events wurde für jede FFT variiert und die Reihenfolge der zu untersuchenden FFT für jeden Versuchsteilnehmenden mittels der Methode des *lateinischen Quadrats* permutiert. Dadurch sind für jeden Probanden die Versuchsabschnitte in jedem Durchgang in einer definierten anderen Reihenfolge. Aufgrund dieser Permutation sollte vermieden werden, dass das jeweilige Event im Versuchsdesign durch den Studienteilnehmer hätte ermittelt werden können und somit das Antizipieren der RÜA deutlich erschwert werden konnte.

Für das Event der Beanspruchungsmessung bei dem alle psychophysiologischen Messwerte erhoben wurden, wurde ein ca. siebenminütiger Abschnitt gewählt. Dieser richtet sich nach der zeitlichen Anforderung von Malik (1996), für die die Messung kardiovaskulärer Aktivitäten mindestens fünf Minuten veranschlagt werden sollten. Zusätzlich zu der Befragung zum Situationsbewusstsein und der Leistungserfüllung der FFT wurde nach diesem Abschnitt noch der NASA-TLX Fragebogen ausgeteilt, da ab diesem Zeitpunkt für die Probanden keine weitere Belastung außer den FFT stattfand. Aufgrund dessen, dass in der Literatur keine Hinweise auf eine Verschlechterung der Übernahmefähigkeit nach längerer automatisierter Fahrt festzustellen sind (Feldhütter et al., 2017), findet im Abschnitt RÜA nach ca. fünf Minuten eine RÜA statt.

Zur Veranschaulichung, welche Messdaten in welchen Abschnitt erhoben und analysiert werden, dient ebenfalls Abbildung 5-4. Alle psychophysiologischen Daten werden im Beanspruchungsmessungsevent erhoben. Zeitgleich wird die FFT ausgeführt und die Person wird hochautomatisiert gefahren. Die subjektive Beanspruchungsmessung findet im Anschluss zum Event in Form einer Befragung statt. Die Sekundäraufgabe hingegen wird in einem gesonderten Event gleichzeitig zur FFT und zur hochautomatisiert Fahrt durchgeführt.

An dieser Stelle wird nochmals angemerkt, dass sich die Reihenfolge in Abhängigkeit der FFT ändert. Da die Messdaten jedoch voneinander unabhängig sind, hat dies keinen negativen Effekt.

Die Studienteilnehmer wurden im Vorfeld per Mail über den Versuchsablauf informiert, siehe Anhang C. Für die Durchführung der Experimente standen drei Zeitfenster zur Auswahl (Start: 8:15, 12:30, 17:00 Uhr, Montag bis Sonntag). Insgesamt erstreckten sich 240 Versuchsstunden auf 32 Versuchstage im Zeitraum von Februar bis März 2019.

Jede Versuchsperson unterzeichnete nach Ankunft am Fahrsimulator eine Einverständniserklärung und bekam eine Einführung in den Versuchsablauf, siehe Anhang D. Anschließend wurde den Probanden die Messtechnik erklärt, sodass sie damit ausgerüstet werden konnten. Nach dem Einsteigen in den Fahrsimulator folgte die korrekte Einstellung des Sitzes sowie der Spiegel.

Vor Beginn der Trainingsfahrt wurden den Versuchsteilnehmenden erneut die Farbkodierung des im Fahrzeug verbauten LED-Lichtbands und somit die verschiedenen Fahrzeugzustände erläutert, siehe Kapitel 5.1.5. Um die Motivation zur Priorisierung der FFT zu steigern, wurde den Versuchspersonen eine höhere Aufwandsentschädigung zugesagt, wenn sie mindestens die Hälfte der Fragen korrekt beantworteten. Probanden, die weniger als 40 % der Fragen zur Primäraufgabe korrekt beantworteten, wurden von der Datenanalyse ausgeschlossen. Dieses Vorgehen sollte sicherstellen, dass die Testpersonen bei der Durchführung der FFT eine hohe Aufgabenpriorisierung der FFT aufwiesen, um so das Subsidiary-Task-Paradigma zu gewährleisten. Die anschließende Trainingsfahrt diente der Eingewöhnung an den verwendeten Simulator. Nach einer kurzen selbstständigen Fahrt im Stadtverkehr übernahm das Fahrzeug die Kontrolle und das hochautomatisierte Fahren begann. Im Rahmen dieser Trainingsfahrten wurden den Versuchsteilnehmenden bereits SAGAT-Messungen und beispielhaft eine RÜA präsentiert. Nach der etwa fünfminütigen Trainingsfahrt wurden Referenzmessungen für die psychophysiologischen Messsysteme sowie für den Reiz-Reaktionszeittest durchgeführt. Die Referenzmessungen dienen dazu, die relative Abweichung der psychophysiologischen Kennwerte zu der jeweiligen FFT zu analysieren. In permutierter Reihenfolge wurden anschließend die fünf FFT Fahrten durchgeführt. Danach folgte ein Abschlussfragebogen, siehe Anhang G. Ein kompletter Versuchsdurchlauf benötigte etwa 3,5–4 Stunden und wurde mittels Versuchsprotokoll (siehe Anhang F) von zwei bis drei Versuchsleitern durchgeführt.

5.1.3 Ethische Genehmigung

Die Ethikkommission der Technischen Universität Darmstadt hat die ethische Genehmigung für diese Studie erteilt. Die Antragskennung lautet EK 55/2018, siehe Anhang B.

5.1.4 Probandenkollektiv

Bei diesem Versuchsdesign ergibt sich nach Döring und Bortz (2016) als optimaler Stichprobenumfang bei Durchführung einer Varianzanalyse mit fünf Faktorstufen mit einem Within-Subjects Study Design eine Probandenanzahl von mindestens 29 Personen. Da bereits im Vorfeld damit zu rechnen war, dass es zu höheren Ausfallquoten bei Simulatorfahrten aufgrund der Simulatorkrankheit kommen kann und die verwendeten Messapparaturen als störanfällig bekannt waren, wurde bei der Akquirierung mit einer ausreichenden Reserve geplant. 62 Probanden konnten für die Hauptstudie rekrutiert werden. Davon mussten insgesamt nur sechs Probanden aufgrund der oben erwähnten Simulatorkrankheit den Versuch vorzeitig beenden und wurden in der Datenauswertung nicht weiter berücksichtigt. Insgesamt nahmen somit $N = 56$ Probanden an der Studie teil, davon 30 Männer und 26 Frauen, mit einem Altersdurchschnitt von 33,2 Jahren ($\sigma = 12,0$ Jahren, Altersbereich von 19 bis 59 Jahren), siehe Abbildung 5-5.

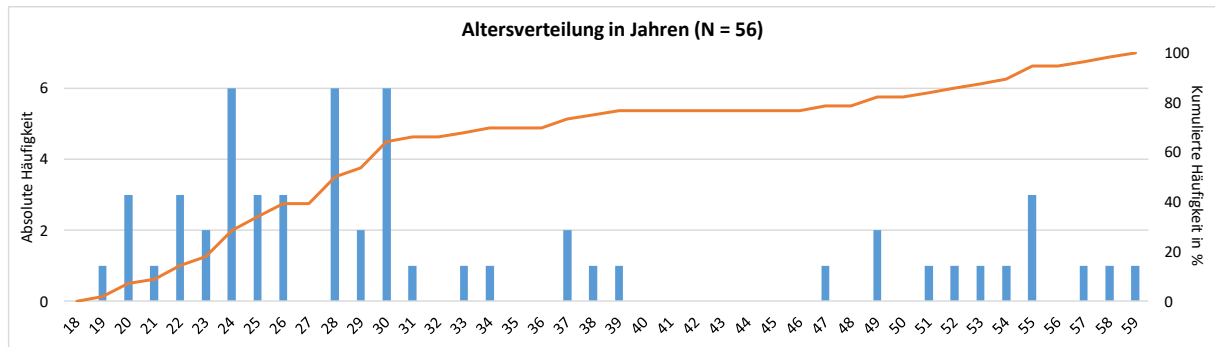


Abbildung 5-5: Altersverteilung der Fahrsimulatorstudie

Die Mehrheit der Testpersonen wurde im Rahmen einer Ausschreibung aus dem universitären Umfeld angeworben. Die institutseigene Probandendatenbank wurde in erster Linie zur Rekrutierung älterer Testteilnehmer genutzt. Am Ende des Versuches erhielten die Testteilnehmer eine Aufwandsentschädigung von 50 €. Im Falle einer vorzeitigen Beendigung wurde eine Vergütung von 10 € gezahlt. Die Versuchspersonen hatten bisher keine Erfahrungen mit hochautomatisierten Fahrzeugen.

5.1.5 Untersuchungsumgebung

Fahrsimulator

Für die Hauptstudie wird derselbe Fahrsimulator, der bereits schon in Kapitel 4.2.3 beschrieben wurde, verwendet. Zur Beantwortung der Forschungsfragen muss dieser jedoch noch um einige Merkmale ergänzt werden. Zum einen sollte der Fahrer während der automatisierten Fahrt in der Lage sein jederzeit in das Verkehrsgeschehen eingreifen zu können und den Automationsregler zu übersteuern. Des Weiteren wird ein frei programmierbares Kombiinstrument installiert, welches die aktuelle Geschwindigkeit im Fahrzeugcockpit anzeigt. Zusätzlich wird eine *LED-Lichtleiste*, das *SAGAT-Messverfahren* sowie eine *RÜA* implementiert.

LED-Lichtleiste

Lichtbänder zur weiteren Informationsdarstellung finden in der Forschung bereits Anwendung und sind nach Yang et al. (2018) und Pfromm, Cieler und Bruder (2013) im Fahrzeuginnenraum etabliert. In dieser Studie wird eine LED-Lichtleiste genutzt, um einerseits den Automationsstatus und andererseits die RÜA sowie die Vorwarnzeit für die Situationsbewusstseinsmessung zu visualisieren.

Leuchtet das LED-Lichtband blau, können sich die Probanden vollständig auf die FFT konzentrieren, da sich das Fahrzeug im hochautomatisierten Modus befindet. Beim roten Leuchten müssen die Probanden die Fahrzeugführung übernehmen. Ein grünes Leuchten kündigt eine Situationsbewusstseinsmessung mit Vorwarnzeit an. Weitere Details sind in Tabelle 5-2 dargestellt.

Tabelle 5-2: LED-Lichtleiste (Projektion der Simulationsumgebung für die Aufnahmen deaktiviert)

Abbildung	Beschreibung
	Automatisiertes Fahren Blau pulsierendes LED Lichtband. Wenn der Automationsregler nicht aktiv ist, ist das LED Lichtband deaktiviert
	RÜA Rot pulsierendes LED Lichtband, alarmierender Hinweiston und Vibration des Sitzrückens
	Situationsbewusstseinsmessung mit Vorwarnzeit Grün leuchtendes LED Lichtband und Hinweiston

Versuchsstrecke

Die in Kapitel 5.1.2 abgeleiteten Anforderungen werden in der Simulationsumgebung Silab bei der Erstellung des Streckendesigns berücksichtigt. Hierfür wurde für jede zu untersuchende FFT eine eigens entwickelte Stadtstrecke realisiert. Da nach den Erkenntnissen aus Kapitel 4.1.3 keine Unterschiede beim FFT-Nutzungsverhalten in Abhängigkeit der Streckenart festgestellt werden konnten und aufgrund des höheren Komplexitätsgrads von innerstädtischen Fahrten (vgl. Fastenmeier, 1995), wurde für die Versuchsstrecke ein Stadtzenario gewählt. Somit wird absichtlich die Betrachtung des Worst-Case-Szenarios herangezogen. Nach Zöller, Diederich, Abendroth und Bruder (2013) weist eine Stadtstrecke typische Eigenschaften wie beispielsweise eine zulässige Höchstgeschwindigkeit zwischen 30 - 50 km/h, eine vergleichsweise hohe Verkehrsdichte, Lichtsignalanlagen, Verkehrszeichen sowie Abbiege- und Bremsvorgänge auf.

Die in der Literatur gefundenen Streckendesigns zur Untersuchung von FFT beschränken sich derzeit auf vergleichsweise einfache Autobahnabschnitte und unterscheiden sich somit zu den in dieser Arbeit gewählten Streckendesigns (vgl. Radlmayr et al. (2014), Feldhütter et al. (2017), Gold et al. (2013)). Ein Auszug der Stadt-Streckenführung bei der FFT Lesen ist in Abbildung 5-6 als Vogelperspektive sowie in Anhang E dargestellt. Eine grundlegende Anforderung war, dass die einzelnen Eventabschnitte (vgl. Kapitel 5.1.2) eine zeitliche Mindestlänge aufweisen. Insgesamt hat die simulierte Stadtstrecke je FFT eine Länge von ca. 19 Minuten (9 km), wobei diese in drei unterschiedlich lange Abschnitte einzuteilen ist (vgl. Kapitel 5.1.2). In Summe fuhren die Versuchsteilnehmenden im Simulator 2557 km bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 8,45 m/s. Dabei betrug der zeitliche Anteil der hochautomatisierten

Fahrt 98 %. Inklusiv der Fragebögen erstreckt sich die Untersuchungsdauer je FFT auf durchschnittlich 30 Minuten. Um zu verhindern, dass die Probanden eine bevorstehende RÜA oder eine Situationsbewusstseinsmessung antizipieren, wurde, wie von Rauch (2009) vorgeschlagen, die Reihenfolge der einzelnen Testabschnitte im Streckendesign sowie die Verkehrsführung für jede FFT variiert. Damit eine Ermüdung während des Experiments vermieden wird, wurden Kreuzungen und Kreisverkehre sowie Fußgänger und Lichtsignalanlagen für eine abwechslungsreiche Simulation integriert. Die Stadtstrecke basiert in einzelnen Abschnitten auf den Innenstädten von Darmstadt und Frankfurt und wurde mit entsprechenden umliegenden Objekten wie Häusern und Stadtschildern für einzelne Stadtteile versehen.

Diese Vorgehensweise sorgt dafür, dass die simulierte Streckenführung die Anforderung erfüllt ein möglichst realistisches Fahrscenario abzubilden.

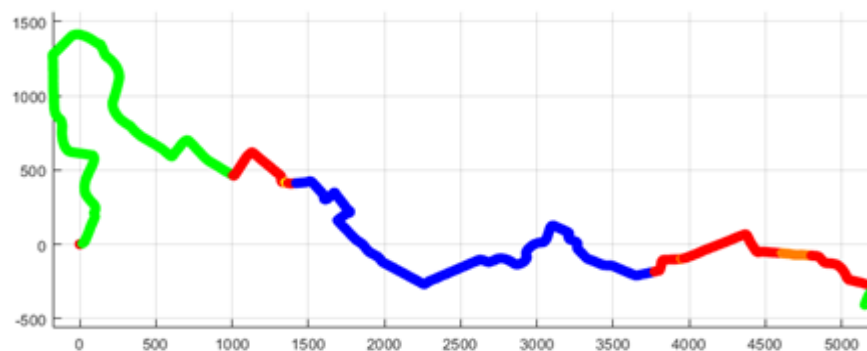


Abbildung 5-6: Darstellung des Streckenverlaufs in m (Vogelperspektive: x-y-Koordinatensystem) für die FFT *Lesen*. Farbliche Kodierung: (grün) Beanspruchungsmessung, (blau) Sekundäraufgabe, (orange) RÜA, (rot) kein definierter Messbereich

Rückübernahmeaufforderung

Zur Überprüfung der Rückübernahmefähigkeit konnte in der Literatur keine Studie im Stadtverkehr identifiziert werden. Daher wurde für jede zu untersuchende FFT eine Übernahmeaufforderung im Stadtverkehr neu konzipiert. Der schematische Aufbau einer RÜA ist in Abbildung 5-7 dargestellt.

Bisher gibt es keine verbindlichen Angaben über ein sicheres und komfortables Zeitbudget (vgl. Kapitel 2.6) für Stadtszenarien. Zur Bestimmung eines akzeptablen Zeitbudgets in der Stadt wurden weiterführende Literaturangaben herangezogen.

Typische Zeitangaben zur visuellen und motorischen Reaktionszeit nach einer RÜA im Fahrzeug liegen zwischen 0,9 bis 1,1 s für den ersten Blick auf die Straße beziehungsweise zwischen 1,8 bis 2,6 s für das Greifen zum Lenkrad (Damböck, 2013; Gold, 2016). Die physikalische Grenze für eine Vollbremsung durch ein Fahrerassistenzsystem liegt bei einer Geschwindigkeit von 30 km/h (50 km/h) bei etwa 0,6 s (0,8 s) (vgl. Winner, Hakuli, Lotz und Singer (2015)).

Werden beide Zeitangaben (motorische Bereitschaft und Zeit bis zum Fahrzeugstillstand) addiert, ergibt sich bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h eine Zeitspanne zwischen einer RÜA bis zum Stillstand von

etwa 3,4 s. Um die Kritikalität zu verringern, wurde letztlich ein Zeitbudget von 6 s in dieser Arbeit gewählt. Dies entspricht auch nach der Meta-Studie von Zhang et al. (2019) einem plausiblen Wert für Autobahnabschnitte.

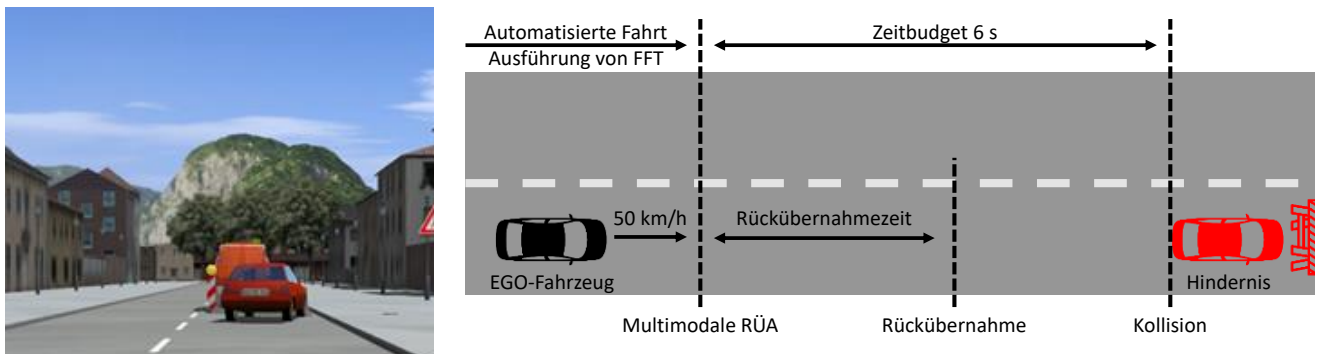


Abbildung 5-7: Exemplarisches Verkehrssituation bei der RÜA

Bei allen fünf FFT Rückübernahmeszenarien wurde auf zusätzlichen Verkehr verzichtet, um den Einflussfaktor der Verkehrsdichte konstant zu halten (Radlmayr et al., 2014). Die RÜA findet jeweils auf gerader Strecke bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h nach Überfahren eines definierten Wegpunktes statt. Da Feldhütter et al. (2017) keinen Effekt bei der Rückübernahmeleistung nach einer kurzen Fahrt (5-minütig) im Vergleich zu einer längeren Fahrt (20-minütig) feststellen konnten, wurde die RÜA innerhalb eines 5-minütigen Abschnitts durchgeführt. Dabei kam eine bereits empirisch evaluierte multimodale RÜA zum Einsatz (vgl. Müller et al. (2018)). Eine erneute Übernahmeaufforderung erfolgte je nach Permutationsreihenfolge nach mehr als zehn Minuten.

Bei der eigentlichen Rückübernahme muss die Versuchsperson eine drohende Kollision durch ein Ausweichen oder Abbremsen verhindern. Nach dem Umfahren des Hindernisses aktiviert sich der Automationsregler auf dem ursprünglichen Fahrstreifen erneut und die Versuchsperson kann sich weiter mit der FFT beschäftigen. Während des Messabschnitts Beanspruchungsmessung und Sekundäraufgabe fuhr das hochautomatisierte Fahrzeug die Stadtstrecke ab. Dabei kam es zu keinen weiteren Ereignissen.

5.1.6 Messmethoden

Für die Hauptuntersuchung kommen verschiedene Messsysteme im Fahrsimulator zum Einsatz. Diese werden im Folgenden vorgestellt sowie deren Auswertung exemplarisch beschrieben.

Messung des Situationsbewusstseins

Wie bereits in Kapitel 5.1.1 hergeleitet, wird in dieser Arbeit für die Bestimmung des Situationsbewusstseins die SAGAT-Methode in die Simulationsumgebung implementiert. Dabei wurden für jede FFT insgesamt drei verschiedene SAGAT Szenarien (ohne Vorwarnzeit, mit kurzer sowie mit langer Vorwarnzeit) entwickelt, die innerhalb der Strecke permutieren, jedoch für alle Probanden gleichbleiben.

Die SAGAT-Methode wurde mittels eigens programmierter *DPU* in Silab integriert. Nachdem die Events Beanspruchungsmessung, Sekundäraufgabe und RÜA abgeschlossen wurden, wird die Simulation beim Überfahren eines definierten Wegpunktes pausiert und zeitgleich der visuelle Sichtkanal schwarz maskiert. Um ebenfalls den Rückschluss auf die Geschwindigkeit zu vermeiden, wurde simultan die Geschwindigkeitsanzeige des Kombiinstrumentes auf den Zahlenwert 999 gesetzt.

Bei der Situationsbewusstseinsmessung mit Vorwarnzeit wird die Testperson zwei beziehungsweise acht Sekunden vor dem SAGAT-Event über die im Fahrzeug verbauten LED-Lichtleisten (siehe Tabelle 5-2) und über ein akustisches Signal darüber informiert, dass in Kürze eine Situationsbewusstseinsmessung stattfindet. Somit bekommt der Proband die Möglichkeit sich einen Überblick über die aktuelle Situation zu verschaffen. Jedoch war es der Versuchsperson beim Erscheinen des grünen Signals über die LED-Lichtleiste nicht ersichtlich, ob es sich um eine Messung mit kurzer oder langer Vorwarnzeit handelt. Der zeitliche Ablauf der drei SAGAT-Messungen ist schematisch in Abbildung 5-8 dargestellt.

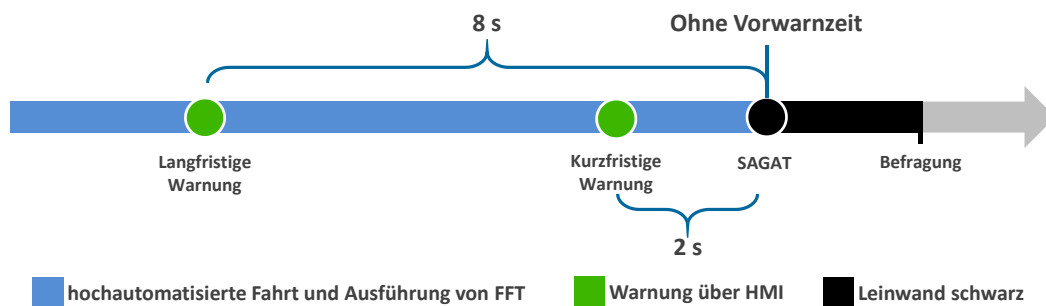


Abbildung 5-8: Schematischer zeitlicher Ablauf der drei Situationsbewusstseinsmesszeitpunktvarianten

Die Befragung zur Verkehrssituation fand, wie von Rauch, Gradenegger und Krüger (2008) empfohlen, direkt im Anschluss nach dem Maskieren der Simulationsumgebung statt. Hierfür wurde ein Fragebogen entwickelt, der Fragen hinsichtlich aller drei Ebenen des Endlsey Situationsbewusstsein-Models zur aktuellen Verkehrssituation abfragt. Zur Gewährleistung einer höheren Diagnostizität zwischen den zu untersuchenden FFT wurden in Anlehnung an Rauch et al. (2008) je SAGAT-Event zehn Fragen zur aktuellen Situation gestellt. Um inhaltlich wechselnde Fragen stellen zu können, muss die aktuelle Verkehrssituation über eine entsprechend hohe Informationsdichte verfügen. Daher wurden jeweils verschiedene Kreuzungssituationen für die Situationsbewusstseinsmessung verwendet.

Die Messkreuzungen wurden so ausgelegt, dass sich inhaltliche Elemente insofern unterscheiden, als dass es zu keiner oder kaum Antizipation der möglichen Situationsbewusstseinsfragen kommen kann. Insgesamt wurden für die fünf zu untersuchenden FFT 15 SAGAT-Kreuzungen entwickelt. Zur Reduzierung von Lerneffekten wurden Verkehrszeichen, die Anzahl und Farbe der Verkehrsteilnehmer sowie deren Fahrtrichtung und Positionierung je Kreuzungssituation variiert. Letzteres gilt auch für das Ego-Fahrzeug, sodass der Proband verschiedene X-Kreuzungen und T-Kreuzungen während des Experiments erlebt. Zwei der insgesamt 15 Szenarien sind exemplarisch in Abbildung 5-9 dargestellt.



Abbildung 5-9: Exemplarischer Auszug der Kreuzungsszenarien zur Situationsbewusstseinsmessung kurz bevor die Simulation pausiert und die Leinwände schwarz maskiert werden

Die entwickelten Fragebögen zur Messung des Situationsbewusstseins orientieren sich an Barbé und Stephane (2009), Bolstad (2001), Loft et al. (2015) und Rauch et al. (2008). Jeder Fragebogen unterscheidet sich für das jeweilige Szenario. Jedoch sind elementare Fragen definiert, die in jeder Befragung vorkommen. Die Fragen beziehen sich sowohl auf das eigene Fahrzeug und die damit einhergehenden Verkehrsregeln als auch auf weitere Verkehrsteilnehmer und deren Einbindung in den Verkehr.

Hierbei wird die erste Ebene der Situationswahrnehmung durch Fragen wie „An welcher Kreuzungsart befinden Sie sich?“, „Wie lautet Ihre Geschwindigkeit?“, „Wie viele Fußgänger befinden sich auf dem Gehweg?“ oder „Welche Signalfarbe hatte die Ampel?“ repräsentiert.

Das Situationsverständnis wird anhand der Fragen „Welche Verkehrsteilnehmer werden langsamer / schneller?“ oder durch Abfragen von vorherrschenden Vorfahrtsregeln festgestellt.

Die Ebene der Antizipation wird durch folgende Fragen ermittelt: „Welche Verkehrsteilnehmer missachten die StVO, wenn sie das derzeitige Fahrverhalten beibehalten?“ sowie „Womit müssen Sie eventuell rechnen?“.

Die Fragebögen bestehen aus jeweils zehn Fragen im diskreten Multiple-Choice Format mit unterschiedlich vielen Antwortmöglichkeiten. Bei jeder Frage gibt es allerdings nur eine richtige Antwort. Dieser Umfang hat sich bereits bei Rauch (2009) bewährt und berücksichtigt, dass Unterbrechungen im Zuge einer Befragung von bis zu sechs Minuten keinerlei Einfluss auf die Leistung des Fahrers haben (Endsley, 2000a). Alle Fragebögen sind in Anhang G aufgeführt. Nach der Befragung wurde die Simulation an der gleichen Stelle, mit der gleichen Geschwindigkeit und automatisiert fahrend fortgesetzt.

Psychophysiologische Messapparatur VarioPort

Zur Bestimmung der psychophysiologischen Beanspruchungskennwerte wurde das Messsystem *VarioPort* der Firma Becker Meditec GmbH verwendet. Das Messsystem ermöglicht in dieser Versuchsreihe die Aufzeichnung von zwei Datenkanälen (EKG in mV, EDA in μ S). Nach Schlick et al.

(2018) werden den Versuchsteilnehmenden für die kardiovaskuläre Datenerfassung drei Einwegelektroden nach dem MC₅ Schema appliziert, siehe Abbildung 5-10 links. Die elektrodermale Aktivität wurde exosomatisch (an der Hautoberfläche) an der linken Fußinnenseite gemessen. Faber (1979) empfiehlt hierfür die Anbringung von Silberelektroden im Abstand von 1,5 cm, siehe Abbildung 5-10 rechts. Die Datenrate des Messsystems beträgt 512 Hz und eignet sich somit auch für die Messung der HRV (vgl. Laborde et al., 2017). Die Daten wurden mittels Software *uVarioTest* aufgezeichnet.

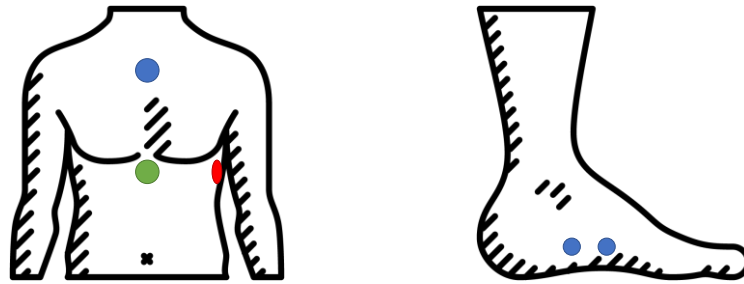


Abbildung 5-10: Links: Veranschaulichung der Klebepunkte der EKG-Elektroden auf dem Oberkörper; Rechts: EDA-Elektroden am linken Fuß (rechts)

Blickbewegungsanalyse Dikablis Glasses 3

Für die Messung okularer Beanspruchungsgrößen sowie für die Auswertung der Blickbewegung wurde das mobile Blickbewegungsanalyzesystem *Dikablis Glasses 3* der Firma Ergoneers GmbH eingesetzt, siehe Abbildung 5-11 links. Als Software wurde *D-Lab V 3.54* genutzt. Das Eye-Tracking-System besteht aus einer Frontkamera, die das Umfeld vor dem Probanden aufzeichnet sowie aus zwei weiteren Kameras, die auf die Augen des Probanden gerichtet sind. Vor jedem Versuch wird eine Kalibrierung durchgeführt. Beim Abnehmen der Brille oder sonstigem Verrücken muss die Kalibrierung erneut ausgeführt werden. Das Messsystem arbeitet mit 60 Hz, wodurch der in Kapitel 5.1.1 vorgestellte Parameter der Lidschlussdauer aufgrund der geringen Abtastrate nicht erhoben werden konnte.

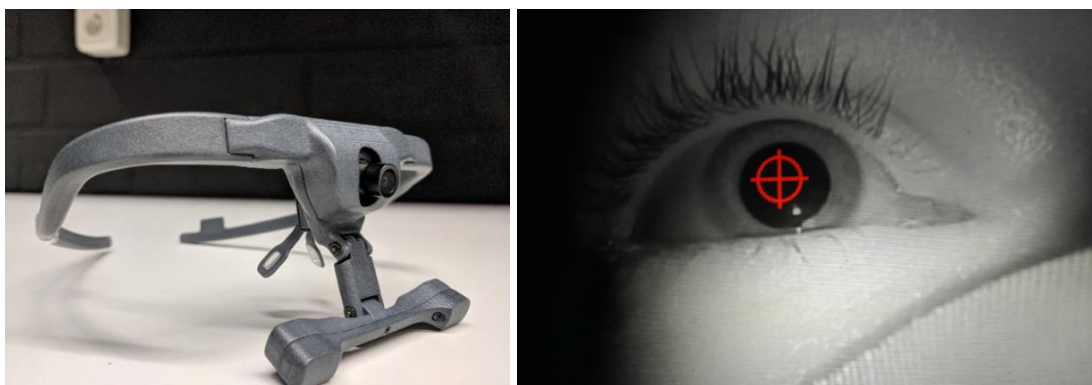


Abbildung 5-11: Links: Verwendete Blickbewegungsbrille vom Typ *Dikablis Glasses 3* (Ergoneers GmbH); Rechts: Screenshot D-Lab: Aufnahme des linken Auges

Reiz-Reaktionszeittest

Zur Bestimmung der leistungsbasierten Beanspruchungsmessung wurde für diese Arbeit ein Reiz-Reaktionszeittest als Eigenaufbau mittels Arduino Mikrocomputer angefertigt. Die Grundlage liefert die

DIN ISO 17488 (2016) und eine von Krause (2017) bereitgestellte Software (siehe <<https://github.com/InstituteOfErgonomics/ArduinoDRT>>, letzter Zugriff 09.03.2020).

Die Funktionsweise des Reiz-Reaktionszeittests erweist sich für den Probanden als sehr simpel und auch als schnell zu erlernen. Die Versuchsteilnehmende müssen auf einen zeitlich nicht vorhersehbaren Stimulus durch Drücken eines Tasters reagieren. Dabei wird der Stimulus eine Sekunde lang ausgegeben beziehungsweise so lange, bis der Versuchsteilnehmende eine Antwort zurückgibt.

Ziel des Reiz-Reaktionszeittests ist die Messung der freien Kapazität (vgl. Abbildung 5-3). Da die Aufgabenbelastung als Kontinuum angesehen werden kann (vgl. Kapitel 2.4), folgt die Diskretisierung der eigentlich kontinuierlich schwankenden Verläufe mittels Wiederholung des Tests pro FFT und Modalität. Der nächste Stimulus wird alle drei bis fünf Sekunden zufällig wiedergegeben. Die gesetzte Gesamtanzahl an Wiederholungen von 30-35 Stimuli (etwa zwei Minuten lang) je Modalität und FFT orientiert sich an vergleichbaren Studien von Krause, Conti, Späth und Bengler (2014) und Stojmenova & Sodnik (2018).

Eine gültige Antwort auf einen Stimulus liegt vor, wenn der Proband innerhalb von 100 – 2500 ms nach Beginn des Reizes den Taster betätigt. Verfrühte unrealistische Reaktionen unter 100 ms und auch Reaktionen länger als 2500 ms wurden nicht gewertet. Wenn keine Antwort erfolgt, wird dies als Fehler kodiert und fließt in die Berechnung der Antwortrate mit ein.

Die Besonderheit bei dieser Variante des Reiz-Reaktionszeittests ist die Darbietung von drei Reizmodalitäten, da neben der generellen Ressourcenauslastung auch die einzelnen Wahrnehmungsressourcen untersucht werden sollen. Die Untersuchung beschränkt sich dabei auf Basis von Schönplugg und Schönplugg (1997) auf die wichtigsten drei Wahrnehmungsmodalitäten im Fahrzeugkontext: visuell, auditiv und taktil.

Die einzelnen Komponenten des Reiz-Reaktionszeittests sind in Abbildung 5-12 dargestellt und werden nachfolgend erläutert.

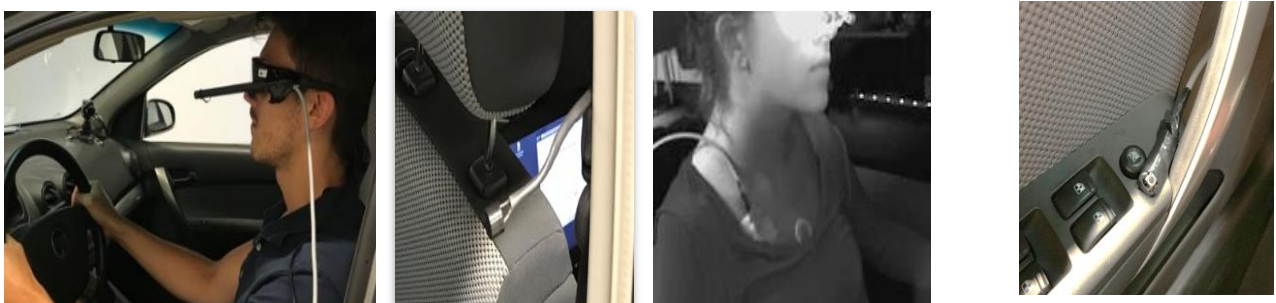


Abbildung 5-12: Aufbau des Reiz-Reaktionszeittests nach DIN ISO 17488 (2016) (von links nach rechts: 1) Visueller Reiz via LED (Kopfbefestigung), 2) Lautsprecher für den auditiven Reiz an der Kopfstütze, 3) Taktile Reiz mittels Vibrationsmotor am Schlüsselbein, 4) Antwortknopf an der linken Türverkleidung

Der visuelle Reiz wurde über eine an der Blickbewegungsbrille angebrachte LED im Abstand von 12 bis 13 cm zum linken Auge befestigt. Diese kopfbefestigte Variante bot den Vorteil, dass sich auch bei Kopfbewegungen der Reiz im Sichtfeld stets an derselben Position befand. Es gab während der

Versuchsreihe von den Probanden keine Äußerungen, dass die LED-Befestigung als störend empfunden wurde. Nach DIN ISO 17488 (2016) wurde eine rote Lichtfarbe (626 nm) und eine LED-Größe mit einem Durchmesser von 5 mm gewählt.

Der akustische Stimulus wurde über einen an der Fahrzeug B-Säule befestigten Lautsprecher an das linke Ohr der Versuchsperson wiedergegeben. Da diese Modalität nicht in der DIN ISO 17488 (2016) standardisiert ist, wurde die Studie von Stojmenova und Sodnik (2018) als Orientierung herangezogen. Die Lautstärke des akustischen Signals betrug 62 dB(A).

Der taktile Reiz wurde mittels Vibrationsmotor (Arduino Grove Motor) aus praktikablen Gründen am rechten statt am linken Schlüsselbein des Probanden befestigt.

Der Antworttaster ist für alle drei Stimuli-Arten gleich und befindet sich entgegen der DIN ISO 17488 (2016) in einer angenehmen Position in der linken Armlehne der Fahrertür anstatt am Finger selbst. Diese Anpassung war aufgrund der Ausführung der FFT und einer erhöhten Kabelbruchsicherheit nötig. Die Modalitäten wurden sequentiell in der Reihenfolge visuell, auditiv und taktil durchgeführt.

Über Wegpunkte in der Simulationsstrecke wurde der Versuchsleiter dazu angewiesen den Reiz-Reaktionszeittest über eine Bedieneinheit fernzusteuern und die jeweiligen Stimulus-Varianten auszuwählen.

Fragebögen zur Erfassung der subjektiven Beanspruchung, der Leistungserfüllung der FFT und des Situationsbewusstseins

Zur Erfassung subjektiver teilnehmerbezogener Daten wurde während der Versuchsreihe ein Fragebogen auf der SoSci-Survey Plattform (<<https://www.sosicisurvey.de/>>) verwendet. Dieser wurde im Fahrzeug auf dem verbauten Tablet durch die Versuchspersonen ausgefüllt.

Subjektive Beanspruchungsmessung

Zur Messung des subjektiven Beanspruchungsempfindens wird der NASA-TLX nach Hart und Staveland (1988) herangezogen. Die Beanspruchung einer Tätigkeit kann nach NASA-TLX in sechs Dimensionen unterteilt werden. Diese setzen sich aus *geistigen* (Mental Demand), *körperlichen* (Physical Demand) und *zeitlichen Anforderungen* (Temporal Demand), der *Leistung* (Performance) sowie der *Anstrengung* (Effort) und *Frustration* (Frustration Level) zusammen. Das 21-stufige Rating (0-100, in 5er-Schritten) kann als erweiterte Version mit einer Dimensionsgewichtung, gewährleistet durch einen 15-fachen Paarvergleich, angewandt werden, um relevantere Dimensionen im sogenannten Overall Score stärker zu berücksichtigen. Dieser Overall Score wird durch die Multiplikation der Dimensionseinzelbewertungen mit ihrer jeweiligen Gewichtung und ihrer anschließenden Aufsummierung berechnet (Rubio et al., 2004).

Nach einer Metaanalyse von Grier (2015) kann es zu einer Überbeanspruchung kommen, wenn der Overall NASA-TLX Score bei 60 und höher liegt. Eine Unterbeanspruchung wird ausgeschlossen wenn

der Score bei über 37 Punkten liegt. Neben dem gewichteten Overall NASA-TLX Score raten Galy, Paxion und Berthelon (2018) zur separaten Betrachtung der einzelnen Dimensionen, da sich die Einzelwerte der Dimensionen gegenseitig kompensieren können und es zu Verzerrungen im Overall Score kommen kann.

Der NASA-TLX wurde den Versuchsteilnehmenden am Anfang des Experiments und zusätzlich nach dem Abschnitt der psychophysiologischen Beanspruchungsmessung ausgehändigt und dient zur Messung der subjektiven Beanspruchung während der Ausübung verschiedener FFT. Der Fragebogen besteht aus sechs Fragen auf einer 21-stufigen Likert-Skala von 0 bis 100 in fünf Schritten. Bei den Versuchen wurde die erweiterte Version mit Paarvergleich verwendet. Da sich die Punktzahlen im Gesamtscore durch unterschiedliche Bewertungen der Einzeldimensionen gegenseitig kompensieren können, wird zusätzlich neben dem Gesamtwert auch die geistige Anforderung detaillierter betrachtet.

Primäre Leistungserfüllung

Für die Überprüfung, ob der Proband seine Priorität bei der Ausübung der FFT richtig gesetzt hat, wurden Fragebögen zur Leistungserfüllung der FFT *Lesen*, *Hören* und *Video schauen* entwickelt. Ziel war es die Leistungserfüllung der FFT zu messen. Hierfür wurden den Versuchsteilnehmenden Fragen zum Inhalt der jeweiligen FFT gestellt. Die Fragen waren dabei so aufgebaut, dass deren Beantwortung aus Multiple Choice Möglichkeiten und Verifikationsfragen (Richtig / Falsch) bestand.

Die Fragen zur primären Leistungserfüllung bei der FFT *Lesen* beziehen sich nur auf die erste Hälfte des Textes, so dass auch ein langsamer Leser die Fragen beantworten kann und die Auswertung dadurch nicht verfälscht wird. Der mitentscheidende Grund für die Auswahl einer Radioreportage anstatt eines Musikstücks liegt darin, dass eine inhaltliche Abfrage der FFT erfolgen soll und dies bei einem Lied schwieriger ausfällt als bei einer Radioreportage. Zusätzlich wurde darauf geachtet, dass die ersten 30 Sekunden der Radioreportage irrelevant für die Beantwortung des Fragebogens sind, damit die Testperson sich in die FFT einfinden kann. Bei der FFT *Video schauen* erfolgte die Überprüfung der Leistungserfüllung nach ähnlichen Kriterien wie bei der FFT *Hören*. Bei der Tätigkeit *Texting* fand während des Experiments eine kontinuierliche Kommunikation zwischen Versuchsperson und Versuchsleiter statt. Daher entfällt hier der Fragebogen zur Leistungserfüllung. Aufgrund des Versuchssettings konnten bei der FFT *Fahrt beobachten* keine Fragen zur eigentlichen Leistungserfüllung gestellt werden, da diese das Situationsbewusstsein abgefragt hätte.

Situationsbewusstseinsmessung

Der Fragebogen zur Situationsbewusstseinsmessung wurde bereits auf Seite 76 erklärt.

Alle Fragebögen sind in Anhang G aufgeführt. Sie wurden nach den Versuchen von der Befragungsplattform SoSci-Survey heruntergeladen und anschließend ausgewertet (vgl. Kapitel 5.1.7).

Videobeobachtung zur Ermittlung der Eingriffsbereitschaft und des TOC-Ratings

Wie auch schon zur Identifikation relevanter FFT bei der Cover-Story-Studie wurde ein Videobeobachtungssystem eingesetzt (vgl. Kapitel 4.2.3).

5.1.7 Datenauswertung

In diesem Unterkapitel wird zunächst die Datensynchronisation der unabhängigen Messsysteme beschrieben und anschließend die Auswertung der einzelnen Kenngrößen im Detail erläutert.

Datensynchronisation

Wie in Kapitel 5.1.6 gezeigt, kamen für die Versuchsreihe mehrere voneinander unabhängige Messsysteme zum Einsatz. Bereits bei der Konzeption der Versuchsreihe musste daher eine Daten-/Zeitsynchronisierung unter den einzelnen Systemen hergestellt werden. Ausgangspunkt hierfür ist die Simulationsumgebung Silab, welche beispielsweise die Simulationszeit, Lenkwinkel, Bremspedalstellung und Event-ID sowie weitere Parameter in einer 60Hz Auflösung für jede Fahrt in einem eigenen *Data-File* abspeichert.

Für die Synchronisation des VarioPort-Messsystems sendet die Simulationsumgebung Silab ein individuelles UDP-Markersignal wegstreckenabhängig zum Start jedes einzelnen Untersuchungsabschnitts über die Netzwerkschnittstelle an die Software *uVarioTest*. Dieses Markersignal wird neben dem EKG- und EDA-Signal auf einem dritten Kanal zeitsynchron aufgezeichnet.

Zur Synchronisation des Blickbewegungsanalysesystems wurde außerdem ein individuelles eventbasiertes Trigger-Signal von der Simulationsumgebung automatisiert an *D-Lab* gesendet.

Der Reiz-Reaktions-Test sendete über eine Netzwerkschnittstelle die aufgezeichneten Daten direkt an das *Data-File* der Simulationsumgebung Silab und konnte so zeitsynchron aufgezeichnet werden.

Zur Synchronisation der Fahrzeuginnenraumbeobachtung wurde das Frontprojektionsbildsignal inklusive der Simulationszeit mittels *OBS Studio* in das Videobeobachtungssignal integriert (vgl. Abbildung 4-7). Ein konstanter zeitlicher Offset von 215 ms zwischen der Verarbeitung der Videosignale und der Simulationsumgebung wird für die weitere Betrachtung berücksichtigt.

Mentale Beanspruchung

Subjektives Empfinden

Der Fragebogen zur Messung des subjektiven Empfindens kam in der Befragung nach dem Abschnitt Beanspruchungsmessung zum Einsatz, (vgl. Abbildung 5-4 Seite 70). Die Fragebogendaten des NASA-TLX wurden von der SoSci-Survey Plattform (<<https://www.soscisurvey.de/>>) heruntergeladen. Aus den Einzeldimensionsangaben und dem Paarvergleich wurde ein Gesamtscore ermittelt.

Psychophysiologische Daten

Alle psychophysiologischen Daten wurden innerhalb des Abschnitts Beanspruchungsmessung erhoben (vgl. Kapitel 5.1.2). Aus den kontinuierlich gemessenen Datensätzen wurden mittels Matlab-Skripten und den verwendeten streckenabhängigen Markern 5-minütige Zeitintervalle extrahiert und im weiteren Verlauf im Detail betrachtet.

Zur Bestimmung der *Lidschlussrate* wurde der in D-Lab aufgezeichnete Pupillenflächen-Wert herangezogen. Hierfür wurde angenommen, dass bei einer Fläche von $< 0,1 \text{ Pixel}^2$ und für eine Haltedauer von mindestens 100 ms ein Lidschlag vorhanden ist (Meinold, 2005), siehe Abbildung 5-11 rechts. In Anlehnung an Kapitel 4.3.1 wurden Lidschläge mit einer Verweildauer von über 500 ms nicht weiter betrachtet, da dies ein Indikator für Ermüdung ist.

Die Anzahl der verbliebenen Lidschlüsse (100 – 500 ms, vgl. 5.1.1) wird abhängig von FFT und Versuchsperson gezählt und für die weitere Analyse aufbereitet.

Die für die kardiovaskuläre Datenauswertung relevanten Abschnitte wurden mit Hilfe eines Matlab-Skripts in fünfminütige Segmente zugeschnitten und in einer anschließenden Signalanalyse mittels der Software *Kubios* weiter analysiert. Nach dem Datenimport wurde eine mittlere Artefaktkorrektur nach Tarvainen, Niskanen, Lipponen, Ranta-Aho und Karjalainen (2014) durchgeführt, um Ausreißer durch Störeinflüsse wie beispielsweise die Atmung zu reduzieren (Laborde et al., 2017). Da eine höhere Atemfrequenz mit einer körperlichen Anstrengung korreliert, stellt diese Korrektur ebenfalls ein Hilfsmittel dar, um den physiologischen Einfluss der körperlichen Beanspruchung gering zu halten. Nach der Analyse des Zeitbereiches wurden die Ergebnisse der Herzschlagrate (meanRR) sowie der HVR (rMSSD) exportiert und dienten der weiteren deskriptiven und inferenzstatistischen Auswertung.

Die Datensätze der elektrodermalen Aktivität wurden mit der Software *Ledalab* (V3.4.8) nach Benedek und Kaernbach (2010) analysiert. Aus diesen Datensätzen wurde der tonische Hautleitwert extrahiert. Damit die Ergebnisse untereinander vergleichbar sind, wurde eine Range-Korrektur nach Lykken und Venables (1971) durchgeführt. Hierbei wurde der minimale und maximale tonische Hautleitwert jedes Probanden über den gesamten Messablauf hinweg ermittelt und jeder Messabschnitt neu normiert.

Leistungsbasierte Daten

Die Leistungserfüllung der Primäraufgabe fand über den gleichen Fragebogen statt wie auch der NASA-TLX und ist analog dazu aufbereitet. Innerhalb der jeweiligen Versuchsabschnitte wurden den Probanden zwischen sechs und zehn Fragen zum jeweiligen Inhalt der FFT gestellt. Die Anzahl der richtigen Antworten wurde aufsummiert und durch die Gesamtfragenanzahl für jeden Abschnitt geteilt. Daraus ergibt sich ein prozentualer Wert.

Die Sekundäraufgabe wurde mittels Reiz-Reaktionszeittest durchgeführt. Die Daten wurden in einem gesonderten Versuchsabschnitt (vgl. Kapitel 5.1.2) ins Silab Data-File aufgenommen und durch eigens programmierte Matlab-Skripte aufbereitet. Insgesamt wurden pro FFT und pro Wahrnehmungsmodalität etwa 30-35 Reize (ca. 2 Minuten lang) aufgezeichnet. Um Trainingseffekte zu vermeiden, wurden die ersten sieben Reize jeweils aus der Datenauswertung ausgeschlossen. Anschließend wurde aus den verbliebenen Reaktionszeiten ein Mittelwert gebildet, der für die anschließende deskriptive und statistische Auswertung zur Verfügung stand. Zur Bestimmung der Antwortrate wurde die Anzahl der Probandenantworten in Verhältnis zu den versendeten Stimuli gebracht. Wie auch bei der Reaktionszeit wurden die ersten sieben Reize zur Vermeidung von Trainingseffekten aus jedem Datensatz entfernt.

Situationsbewusstsein

Zur Bestimmung des Situationsbewusstseins wurde jeweils eine SAGAT-Messung zum Ende jedes Versuchsabschnitts angewandt. Für die Situationsbewusstseinsdatenauswertung wurde analog zur Leistungserfüllung der Primäraufgabe verfahren. Insgesamt wurden zehn Fragen für jede Situationsbewusstseinsmessung gestellt. Die Summe der richtigen Antworten wurde durch die Frageanzahl dividiert. Das Ergebnis ist ein prozentualer Situationsbewusstseinswert.

Rückübernahmefähigkeit

Die RÜA fand einmal pro Versuchsteilnehmer pro FFT in einem gesonderten Abschnitt statt. Zur Berechnung des Kennwerts *erster Blick auf die Straße* nach RÜA muss die exakte Blickrichtung des Probanden bestimmt werden. Dafür wurden in der Analysesoftware D-Lab kontextabhängige Bildbereiche (Areas of Interest, AoI), beispielsweise die Windschutzscheibe, definiert. Durch die Einbettung ortsfester QR-Codes (siehe Abbildung 5-13) konnte eine automatisierte AoI-Auswertung erfolgen. Blickt die Versuchsperson auf das AoI Windschutzscheibe, wird dies in den Messdaten vermerkt. Die zeitliche Differenz zwischen Start der RÜA und erstem Blick auf die Straße wurde mittels eigens programmierter Matlab-Skripts berechnet. Nachdem der Blick auf die Straße gerichtet ist, folgt der Prozess zur Herstellung der motorischen Bereitschaft. Dies wurde mittels Videobeobachtung durchgeführt (vgl. Abbildung 4-7, Seite 51). Dafür wird im Videosignal die zeitliche Differenz zwischen RÜA und dem ersten Moment des Berührens des Lenkrads oder der Pedale von zwei Personen unabhängig voneinander visuell ermittelt.



Abbildung 5-13: Ansicht der Analysesoftware D-Lab: Kreuz entspricht aktueller Blickrichtung sowie Darstellung von AoI-Feldern

Weitere fahrzeugbezogene Kenngrößen können aus den aufgenommenen Data-Files anhand eigens programmierter Skripte automatisiert generiert werden. Ein Beispiel dafür ist in Abbildung 5-14 dargestellt. In einem Zeitfenster von 5 Sekunden vor bis 25 Sekunden nach RÜA werden die Parameter beider Pedale sowie des Lenkrads abgebildet (schwarze Linien). Ab einem Pedalwert von 10 % bzw. 3 ° Lenkwinkeländerung (blaue horizontale Linie) wird von einer formalen Übernahme ausgegangen und der entsprechende Zeitpunkt hierfür bestimmt. Für die minimale Rückübernahmezeit wird der Kennwert herangezogen, der zuerst gemessen wurde. Im Beispielbild wurden eine Vollbremsung und anschließend wieder Beschleunigung sowie links um das Hindernis herumfahren durchgeführt. Etwa 21 Sekunden nach RÜA fährt das Fahrzeug erneut hochautomatisiert weiter.

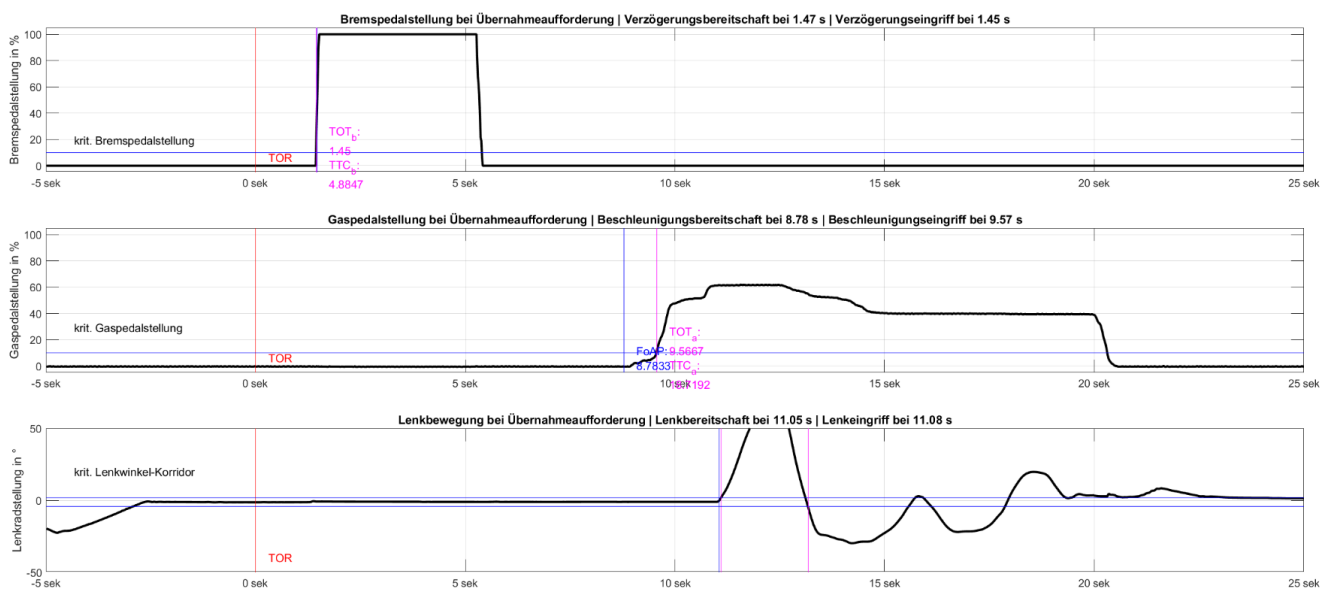


Abbildung 5-14: Auswertung der Fahrzeugdaten nach einer RÜA: 1) Bremspedalverlauf, 2) Gaspedalverlauf, 3) Lenkwinkelverlauf

Zur Bestimmung der Rückübernahmequalität wurden ebenfalls Fahrsimulatordaten sowie Videomaterial der Kamerabeobachtung genutzt. Die Parameter Time-to-Collision, Kollisionsanzahl und Verzögerungsverhalten konnten direkt aus den Fahrsimulatordaten bestimmt werden. Für alle Probanden und jede FFT wurden die entsprechenden Kennwerte bestimmt und für die weitere statistische Analyse aufbereitet.

Zur subjektiven Beurteilung des Rückübernahmeverhaltens wird das TOC-Rating (vgl. Naujoks, Wiedemann et al., 2018) verwendet. Zu diesem Zweck wurden die aufgezeichneten mehrstündigen Videos (vgl. Abbildung 4-7) mit Hilfe eigens programmierter *AviSynth-Skripte* in einminütige Segmente der jeweiligen Übernahmeaufforderung gekürzt. Anschließend wurden die Segmente nach Abschluss der Fahrversuche von zwei unabhängigen Personen unter Einbeziehung des TOC-Kodierungsbogens beurteilt. Je nach Übernahmeverhalten (Fehlerfrei, Unsicherheit, Fehler, Gefährdung und Unkontrollierbar) wird jede Übernahme-situation nach dem gleichen System bewertet, siehe Abbildung

5-15. Gemäß der jeweiligen Ausprägung des Übernahmeverhaltens wird für die Übernahme eine TOC-Zahl von eins (fehlerfrei) bis zehn (unkontrollierbar) bestimmt.

	Fehlerfrei	Unsicherheit	Fehler	Gefährdung	Unkontrollierbar
Bremmung			<input checked="" type="checkbox"/> zu stark <input type="checkbox"/> zu schwach <input type="checkbox"/> zu spät <input type="checkbox"/> Fehlend	<input type="checkbox"/> Gefährdung anderer <input type="checkbox"/> Eigengefährdung	<input type="checkbox"/> Kollision <input type="checkbox"/> Fahrbahnabkommen <input type="checkbox"/> Kontrollverlust
Längsregelung			<input type="checkbox"/> Sicherheitsabstand unterschritten <input checked="" type="checkbox"/> Geschwindigkeit unangepasst		
Querregelung		<input type="checkbox"/> Ruckartiges Lenken <input type="checkbox"/> Ungenau	<input type="checkbox"/> Sicherheitsabstand unterschritten <input type="checkbox"/> Starke Schwankung <input type="checkbox"/> Spurübertretung		
Spurwechsel / -wahl			<input type="checkbox"/> Zögerlich / Abgebrochen <input type="checkbox"/> Zu spät <input type="checkbox"/> Fehlend <input type="checkbox"/> Spur falsch		
Sichern / Kommunikation		<input type="checkbox"/> Unnötig geblinkt / Falsche Richtung	<input type="checkbox"/> Fehlend / Verspätet geblinkt <input checked="" type="checkbox"/> Fehlend / Verspätet gesichert		
Fahrzeugbedienung		<input checked="" type="checkbox"/> Unsicherheit	<input type="checkbox"/> Probleme		
Fahrerausdruck		<input type="checkbox"/> Sichtbare Emotion			
			6		
Kommentar: Vollbremsung nicht nötig. Bei Vollbremsung keine Hand am Lenkrad. Danach einhändige Weiterfahrt. Keine Sicherungsblicke erkennbar.					

Abbildung 5-15: TOC Rating ausgefüllter Kodierungsbogen

Für eine höhere statistischen Testrobustheit wurden, wie bereits in Kapitel 3.3 erläutert, alle Daten winsorisiert.

5.1.8 Detaillierung der Untersuchungshypothesen

Im Folgenden werden die in Kapitel 3 präsentierten Leithypothesen auf Grundlage der verwendeten Mess- und Bewertungsmethoden näher erläutert. Die Detaillierungen werden vorgenommen, um statistisch überprüfbare Hypothesen zu erhalten. Eine Hypothese wird beibehalten, wenn der ausgeführte statistische Test (vgl. Kapitel 3.3) unter die Irrtumswahrscheinlichkeit unter 5% fällt. Weiterführend werden jeweils die Ergebnisse inhaltlich diskutiert.

Detaillierung der Leithypothese LH1

Auf Basis der Empfehlung einer holistischen Betrachtung der Untersuchung der mentalen Beanspruchung, wird für jeden Messansatz und jede verwendete Messmethode eine eigene Hypothese gebildet ($H_{1,1}$ bis $H_{1,8}$). Aufgrund dessen, dass keine Erkenntnisse aus bisherigen Studien zu den untersuchenden FFT vorliegen, können keine gerichteten Hypothesen formuliert werden. Infolgedessen werden für jede Untersuchungsgröße ungerichtete Unterschiedshypothesen erarbeitet. Die detaillierten Unterhypothesen für die mentale Beanspruchung der LH1 finden sich in Tabelle 5-3.

Zur Veranschaulichung der verwendeten mathematischen Beschreibung wird beispielhaft Alternativhypothese $H_{1,2}$ (Δ NASA geistige Anforderung) [Nullhypothese $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$] definiert:

Die mittels NASA-TLX gemessene empfundene geistige Anforderung unterscheidet sich zwischen den verschiedenen zu untersuchenden naturalistischen FFT während hochautomatisierter Fahrt signifikant.

Tabelle 5-3: Detaillierung der Leithypothese LH1

Hypothese	
$H_{1,1}$: Δ NASA-TLX Gesamt (gewichtet)	Subjektives Empfinden
$H_{1,2}$: Δ NASA-TLX geistige Anforderung	Subjektives Empfinden
$H_{1,3}$: Δ Lidschlussrate	Psychophysiologische Aktivität
$H_{1,4}$: Δ Herzschlagrate (meanRR)	Psychophysiologische Aktivität
$H_{1,5}$: Δ Herzfrequenzvariabilität (rMSSD)	Psychophysiologische Aktivität
$H_{1,6}$: Δ Hautleitwert (SCL)	Psychophysiologische Aktivität
$H_{1,7}$: Δ Antwortrate (Reiz-Reaktionszeittest)	Leistungsbasierte Beanspruchung
$H_{1,8}$: Δ Reaktionszeit (Reiz-Reaktionszeittest)	Leistungsbasierte Beanspruchung

Detaillierung der Leithypothesen LH2.1 bis 2.3

Die Leithypothesen LH2.1 bis 2.3 (vgl. Kapitel 3.2) beziehen sich auf die Kenngrößen des vorhandenen Situationsbewusstseins. Aufgrund der Erkenntnisse aus Kapitel 2.6 lassen sich die folgenden Hypothesen in Tabelle 5-4 aufstellen. Dabei wird angenommen, dass sich das Situationsbewusstsein in Abhängigkeit der ausgeführten FFT signifikant unterscheidet ($H_{2,1,1}$). Des Weiteren wird die Annahme getroffen, dass das Situationsbewusstsein mit einer kurzen oder langen Vorwarnzeit besser ausfällt als das Situationsbewusstsein ohne Vorwarnzeit ($H_{2,2,1}$ bzw. $H_{2,2,2}$) und dass ein besseres Situationsbewusstsein aus einer langen Vorwarnzeit im direkten Vergleich zu einer kurzen Vorwarnzeit ($H_{2,2,3}$) resultiert. Um die Hypothesenanzahl gering zu halten, werden hierfür die Situationsbewusstseinsergebnisse über alle FFT hinweg gemittelt. Für die dritte Leithypothese wird angenommen, dass sich das Situationsbewusstsein unabhängig von der ausgeführten FFT aufbaut, sobald eine Vorwarnzeit vorhanden ist. Somit kann davon ausgegangen werden, dass keine signifikanten Unterschiede in Abhängigkeit der zu untersuchenden FFT bei kurzer ($H_{2,3,1}$) bzw. langer Vorwarnzeit ($H_{2,3,2}$) vorliegen.

Tabelle 5-4: Detaillierung der Leithypothese LH2.1 bis LH2.3

Hypothese	
$H_{2,1,1}$: Δ SAGAT ₀	
$H_{2,2,1}$: SAGAT ₂ > SAGAT ₀	
$H_{2,2,2}$: SAGAT ₈ > SAGAT ₀	
$H_{2,2,3}$: SAGAT ₈ > SAGAT ₂	
$H_{2,3,1}$: Δ SAGAT ₂	
$H_{2,3,2}$: Δ SAGAT ₈	

Detaillierung der Leithypothese LH3.1 bis 3.2

Die Leithypothesen LH3.1 bis LH3.2 beziehen sich auf die Rückübernahmefähigkeit nach dem Ausfall des Automationsreglers im Fahrversuch. Die Rückübernahmefähigkeit wird untergliedert in die Übernahmezeit und Übernahmequalität. Die verwendeten Hypothesen sind in Tabelle 5-5 aufgelistet. Aufgrund der Tatsache, dass noch nicht die ausgewählten FFT untersucht wurden, können ähnlich wie bei LH1 keine gerichteten Hypothesen formuliert werden. Dementsprechend wird für jede Kenngröße eine ungerichtete Unterschiedshypothese erarbeitet. Hierbei wird die Annahme getroffen, dass es zwischen den zu untersuchenden FFT Unterschiede bei der Reaktionszeit *Blick auf die Straße* ($H_{3.1,1}$) und *minimale Übernahmezeit* ($H_{3.1,2}$) gibt. Wie in Kapitel 2.2.3 hergeleitet, konnte bei manueller Fahrt festgestellt werden, dass sich die Zeitdauer zwischen Blick auf die Gefahrensituation und der Betätigung des Bremspedals verlängert, wenn die Person mental beansprucht ist. Aus diesem Grund wird diese Annahme auf den Anwendungsfall des hochautomatisierten Fahrens übertragen und ein Unterschied zwischen den zu untersuchenden FFT beim Kennwert *zeitliche Differenz zwischen Blick auf die Straße und minimale Übernahmezeit* vorhergesagt ($H_{3.1,3}$). Auch wird davon ausgegangen, dass sich die Übernahmequalität je nach ausgeführter FFT und Kennwert unterscheidet ($H_{3.2,1}$ bis $H_{3.2,3}$).

Tabelle 5-5: Detaillierung der Leithypothesen LH3.1 bis 3.2

Hypothese
$H_{3.1,1}$: Δ Blick auf die Straße
$H_{3.1,2}$: Δ minimale Übernahmezeit
$H_{3.1,3}$: Δ Delta erster Blick auf die Straße und minimale Übernahmezeit
$H_{3.2,1}$: Δ Kollisionsanzahl
$H_{3.2,2}$: Δ TTC
$H_{3.2,3}$: Δ TOC Rating

Detaillierung der Leithypothesen LH4

Die letzte Leithypothese LH4 fasst die Leithypothesen 1 bis 3 zusammen und untersucht den globalen Zusammenhang unabhängig der untersuchten FFT. Da eine höhere mentale Beanspruchung zu Leistungseinbußen führen kann (vgl. Kapitel 2.4), wird erwartet, dass ein positiver Zusammenhang zwischen der steigenden mentalen Beanspruchung und der Übernahmezeit nach RÜA vorliegt ($H_{4,1}$). Des Weiteren wird angenommen, dass bei einem hohen Situationsbewusstseinswert die Übernahmezeit abnimmt, da das Situationsbewusstsein einen positiven Einfluss auf das Verständnis der Umgebung besitzt, was somit negativ zueinander korreliert ist ($H_{4,2}$), siehe Tabelle 5-6.

Tabelle 5-6: Detaillierung der Leithypothese LH4

Hypothese
$H_{4,1}$: corr(mentale Beanspruchung, Rückübernahmezeit)
$H_{4,2}$: -corr(Situationsbewusstsein, Rückübernahmezeit)

Die weiterführende statistische Vorgehensweise wurde in Kapitel 3.3 im Detail erläutert.

5.2 Ergebnisse

5.2.1 Mentale Beanspruchung beim Ausführen von FFT

In diesem Unterkapitel werden das subjektive Beanspruchungsempfinden sowie die psychophysiologischen- und die leistungsbasierten Beanspruchungsdaten vorgestellt. Die letztgenannte Messvariante wurde in einem gesonderten Versuchsabschnitt erhoben, um die anderen beiden Datentypen durch eine Mehrbelastung des Reiz-Reaktionstests nicht negativ zu beeinflussen.

Subjektive Beanspruchung

Die Bewertung der subjektiven Beanspruchung erfolgte mittels NASA-TLX, wobei ein hoher Wert mit einer größeren Beanspruchung korreliert. Bei der gewichteten Gesamtbewertung zeigt sich, dass die Beanspruchung bei der Tätigkeit *Lesen* mit 52,47 Punkten (SD = 17,68 Punkte) von 100 möglichen Punkten am höchsten ist (siehe Abbildung 5-16). Die detaillierten Ergebnisse sind in Tabelle 5-7 aufgelistet (Mittelwert und Standardabweichung sowie die jeweils Post-hoc geprüfte Mittelwertdifferenz. Interpretation: FFT-Spalteneintrag hat Mittelwert mehr (+) bzw. weniger (-) als FFT-Zeileneintrag, signifikante Unterschiede **fett** und mit * gekennzeichnet).

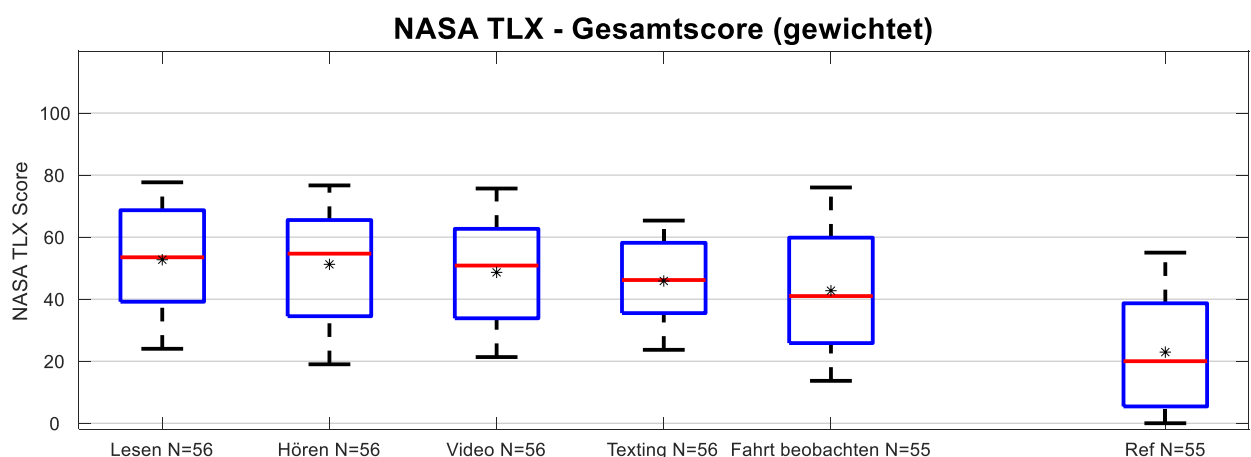


Abbildung 5-16: Boxplotdarstellung *NASA-TLX – Gesamtscore (gewichtet)* in Abhängigkeit der untersuchten FFT in Punkten

Tabelle 5-7: Übersicht der Ergebnisse *NASA-TLX – Gesamtscore (gewichtet)* in Punkten

FFT	MW	SD	Text lesen	Hörbuch hören	Video schauen	Texting	Fahrt beobachten
Text lesen	52,47	17,68		-1,67	-3,83	-6,74	-10,22 *
Hörbuch hören	50,79	19,58	1,67		-2,15	-5,06	-8,54
Video schauen	48,64	17,85	3,83	2,15		-2,91	-6,39
Texting	45,72	13,88	6,74	5,06	2,91		-3,48
Fahrt beobachten	42,24	20,31	10,22 *	8,54	6,39	3,48	
Referenz	23,24	19,11	29,22 *	27,54 *	25,39 *	22,48 *	19,00 *

* signifikanter Unterschied der Mittelwertdifferenz ($\alpha=0,05$; Bonferroni korrigiert)

Ein signifikanter Unterschied ist zwischen der Referenzmessung (23,24 Punkte, SD = 19,11 Punkte) und den verschiedenen FFT zu erkennen. Das Ergebnis der mehrfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung bestätigt diesen signifikanten Unterschied zwischen den getesteten Faktoren, $F(5, 265) = 28,67$, $p < 0,001$, $f = 0,37$ und die Hypothese $H_{1,1}$ (Δ NASA-TLX Gesamt (gewichtet)) wird beibehalten. Die Beanspruchung in Abhängigkeit der FFT zeigt aufgrund der hohen Varianz nur zwischen den Tätigkeiten *Fahrt beobachten* und *Lesen* einen signifikanten Unterschied. Alle FFT zeigen im Vergleich zur Referenzmessung einen signifikanten Unterschied. Der arithmetische Mittelwert der empfundenen Beanspruchung sinkt in folgender Reihenfolge: *Lesen*, *Hören*, *Video schauen*, *Texting* und *Fahrt beobachten*.

Die Ergebnisdaten der NASA-TLX Dimension geistige Anforderung sind in Abbildung 5-17 dargestellt. Auch hier ist ein Abfallen der empfundenen geistigen Anforderungen über die FFT zu erkennen. Die Daten der Referenzmessung sind dabei am niedrigsten (28,88 Punkte, SD = 23,56 Punkte). Bei der FFT Lesen ist die geistige Anforderung hingegen am höchsten (63,70 Punkte, SD = 22,30 Punkte). Hörbuch hören (58,88 Punkte, SD = 22,30 Punkte) und Video schauen (56,20 Punkte, SD = 26,52 Punkte) unterscheiden sich davon nicht signifikant, liegen im Mittel jedoch etwas niedriger. Texting (47,68 Punkte, SD = 22,37 Punkte) und Fahrt beobachten (43,61 Punkte, SD = 28,44 Punkte) werden von den Probanden als signifikant geringer beanspruchend empfunden als Lesen, Hören oder Video schauen. Eine detaillierte Auflistung aller signifikanten Unterschiede ist in Tabelle 5-8 dargestellt. Im Vergleich zum NASA-TLX Gesamtscore zeigen sich bei den Post-hoc Tests deutlich mehr signifikante Unterschiede. Die ANOVA mit Messwiederholung zeigt, dass sich die geistigen Anforderungen statistisch signifikant unterscheiden, $F(5, 265) = 21,77$, $p < 0,001$, $f = 0,30$. Aus diesem Grund wird Hypothese $H_{1,2}$ (Δ NASA-TLX geistige Anforderung) beibehalten.

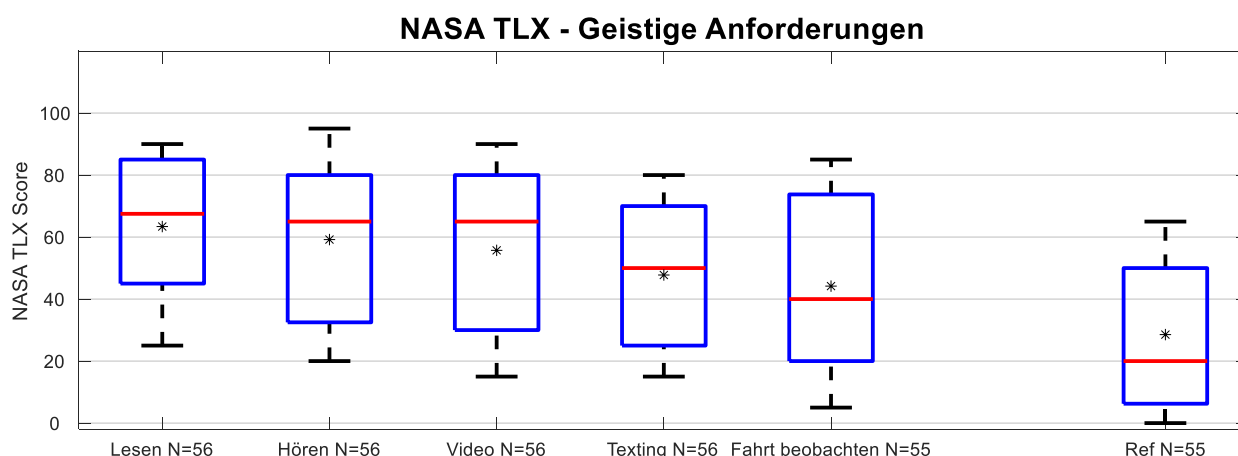


Abbildung 5-17: Boxplotdarstellung NASA-TLX – Geistige Anforderungen in Abhängigkeit der untersuchten FFT in Punkten

Es zeigt sich, dass eine detaillierte Betrachtung der einzelnen Dimensionen beim NASA-TLX neue Erkenntnisse liefert, da Einzeldimensionen sensibler auf Änderungen reagieren. Dennoch sind die

Verläufe der Daten gleich. Die FFT *Text lesen* wurde als am beanspruchendsten empfunden und überstieg im Mittel sogar bei der geistigen Anforderung den kritischen Schwellwert von 60 Punkten. Wie schon in Kapitel 5.1.1 erwähnt, entspricht dies einer Überforderung. Die *Fahrt beobachten* wurde als am geringsten beanspruchend bewertet. Weitere Dimensionen werden nicht weiter im Detail betrachtet, da diese weniger relevant für die mentale Beanspruchung sind. Die Ergebnisse sind in Anhang H aufgelistet.

Tabelle 5-8: Übersicht der Ergebnisse NASA-TLX – Geistige Anforderungen in Punkten

FFT	MW	SD	Text lesen	Hörbuch hören	Video schauen	Texting	Fahrt beobachten
Text lesen	63,70	22,30		-4,81	-7,5	-16,01 *	-20,09 *
Hörbuch hören	58,88	26,55	4,81		-2,68	-11,20 *	-15,27 *
Video schauen	56,20	26,52	7,5	2,68		-8,51	-12,59 *
Texting	47,68	22,37	16,01 *	11,20 *	8,51		-4,07
Fahrt beobachten	43,61	28,44	20,09 *	15,27 *	12,59 *	4,07	
Referenz	28,88	23,56	34,81 *	30,00 *	27,31 *	18,79 *	14,72 *

* signifikanter Unterschied der Mittelwertdifferenz ($\alpha=0,05$; Bonferroni korrigiert)

Psychophysiologische Beanspruchungskennwerte

In diesem Unterkapitel werden die psychophysiologischen Ergebnisse der okularen, kardiovaskulären und elektrodermalen Beanspruchungsparameter vorgestellt.

Okulare Aktivität

Die Ergebnisse der Lidschlussrate sind in Abbildung 5-18 visualisiert und in Tabelle 5-9 aufgelistet. Hierbei korreliert eine niedrige Lidschlussrate mit einer erhöhten Beanspruchung (vgl. Kapitel 5.1.1). Aufgrund technischer Aussetzer mussten einige Datensätze aus der Analyse exkludiert werden. Bei der Tätigkeit *Text lesen* (9,27 bpm, SD = 3,47 bpm) konnten daher nur 33 Personen bei dem Kennwert Lidschlussrate berücksichtigt werden. Aufgrund der unterschiedlichen Varianzen wurde für die statistische Datenanalyse eine Greenhouse-Geißer Korrektur angewandt [Greenhouse–Geisser $F(2,99, 38,96) = 21,67, p < 0,001, f = 0,79$]. Die deskriptive Statistik zeigt, mit Ausnahme der Tätigkeiten *Hörbuch hören* (21,59 bpm, SD = 6,90 bpm) und *Video schauen* (21,33 bpm, SD = 7,30 bpm), große Unterschiede der Mittelwerte. Die geringste Lidschlussrate konnte beim *Texting* (8,64 bpm, SD = 4,49 bpm) festgestellt werden. Die *Fahrt beobachten* (16,75 bpm, SD = 5,13 bpm) befindet sich auf einem ähnlichen Niveau wie die Referenzmessung (18,33 bpm, SD = 7,27 bpm).

Auf Basis der vorhandenen Lidschlussdaten kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass *Lesen* und *Texting* die beiden beanspruchendsten Tätigkeiten sind. *Hörbuch hören* und *Video schauen* unterscheiden sich kaum voneinander und zeigen entsprechend der Annahme, dass der Kennwert negativ mit der steigenden Beanspruchung korreliert, eine geringere Beanspruchung als die FFT *Fahrt beobachten*. Die Hypothese H_{1,3} (Δ Lidschlussrate) wird daher beibehalten.

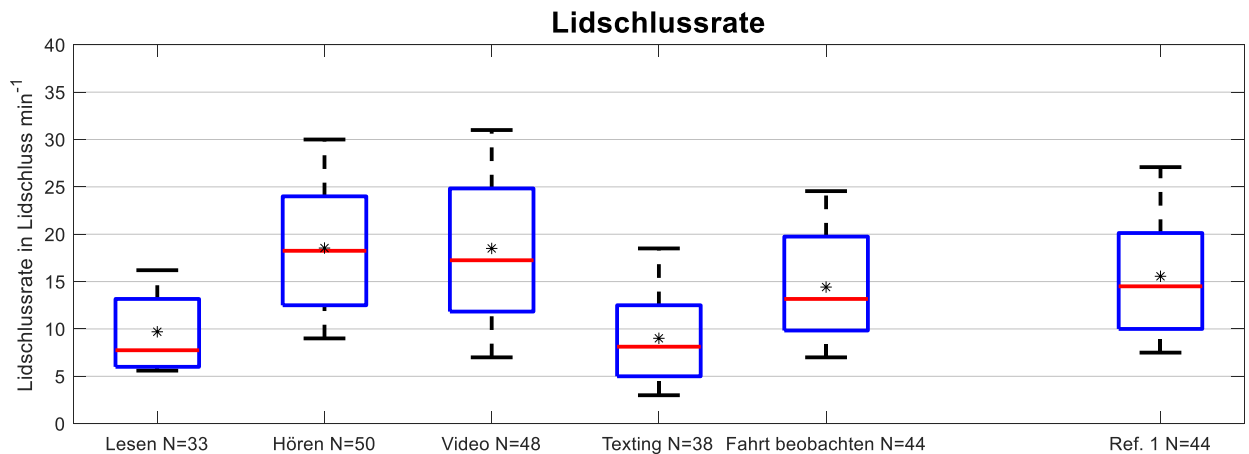


Abbildung 5-18: Boxplotdarstellung *Lidschlussrate* in Abhängigkeit der untersuchten FFT in bpm

Tabelle 5-9: Übersicht der Ergebnisse *Lidschlussrate* in bpm

FFT	MW	SD	Text lesen	Hörbuch hören	Video schauen	Texting	Fahrt beobachten
Text lesen	9,27	3,47		12,32 *	12,06 *	-0,62	7,48 *
Hörbuch hören	21,59	6,90	-12,32 *		-0,26	-12,94 *	-4,84
Video schauen	21,33	7,30	-12,06 *	0,26		-12,68 *	-4,58
Texting	8,64	4,49	0,62	12,94 *	12,68 *		8,10 *
Fahrt beobachten	16,75	5,13	-7,48 *	4,84	4,58	-8,10 *	
Referenz	18,33	7,27	-9,06 *	3,26	3,00	-9,68 *	-1,58

* signifikanter Unterschied der Mittelwertdifferenz ($\alpha=0,05$; Bonferroni korrigiert)

Der ebenfalls erfasste Kennwert Pupillenfläche konnte nicht als Beanspruchungsparameter herangezogen werden, da die Hintergrundbeleuchtung des Tablets zu verfälschten Ergebnissen führte. Weiter konnte auch die Aufnahme des Parameters Lidschlussdauer keine plausiblen Daten liefern, da die zeitliche Auflösung von 60 Hz nicht ausreichend war, um eindeutige Unterschiede festzustellen.

Kardiovaskuläre Aktivität

Die **Herzschlagrate** liegt bei allen FFT im Mittel in ähnlichen Bereichen, siehe Abbildung 5-19. Die Herzschlagrate bei der Tätigkeit *Texting* (75,90 bpm, SD = 11,04 bpm) ist jedoch signifikant höher als bei den restlichen FFT, was mit einer stärkeren Beanspruchung korreliert. Die Referenzmessung (70,92 bpm, SD = 8,19 bpm) zeigt bis auf die Tätigkeit *Video schauen* (72,47 bpm, SD = 9,01 bpm) und *Fahrt beobachten* (72,26 bpm, SD = 8,72 bpm) signifikant geringere Werte zu den anderen FFT. *Text lesen* (72,17 bpm, SD = 8,86 bpm) und *Hörbuch hören* (72,99 bpm, SD = 8,88 bpm) unterscheiden sich im Hinblick auf die Herzschlagrate kaum voneinander. Eine Greenhouse-Geißer Korrektur wurde aufgrund nicht vorhandener Sphärizität angewandt. Dabei konnte ein schwacher Effekt bei den Messergebnissen nachgewiesen werden [Greenhouse–Geisser $F(3,43, 175,04) = 14,18$, $p < 0,001$, $f = 0,21$]. Die Hypothese $H_{1,4}$ (Δ Herzschlagrate (meanRR)) wird daher beibehalten. Die vollständigen Ergebnisse sind in Tabelle 5-10 aufgeführt.

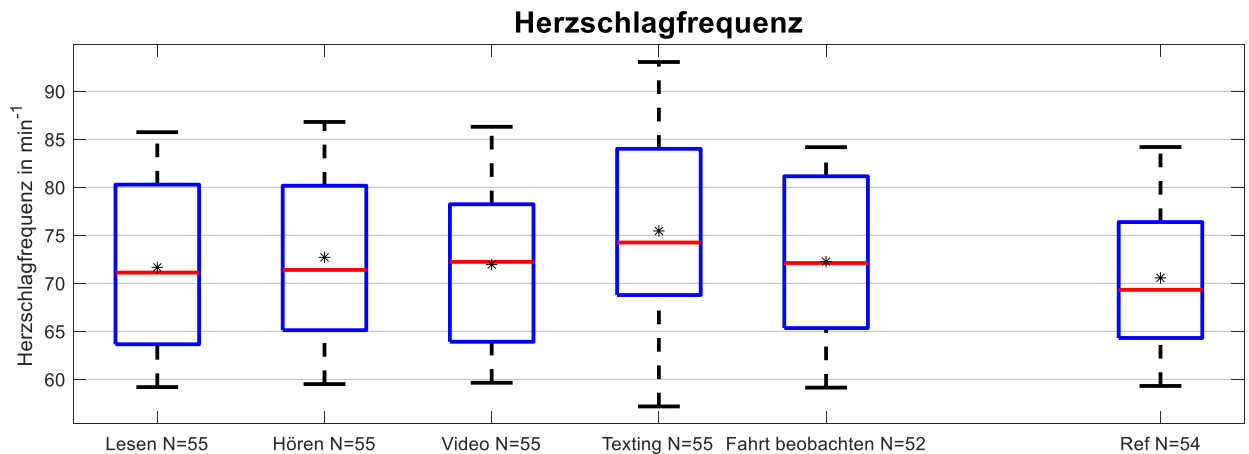


Abbildung 5-19: Boxplotdarstellung der *Herzschlagrate* in Abhängigkeit der untersuchten FFT in bpm

Tabelle 5-10: Übersicht der Ergebnisse *Herzschlagrate* in bpm

FFT	MW	SD	Text lesen	Hörbuch hören	Video schauen	Texting	Fahrt beobachten
Text lesen	72,17	8,86		0,81	0,30	3,72 *	0,09
Hörbuch hören	72,99	8,88	-0,81		-0,51	2,90 *	-0,72
Video schauen	72,47	9,01	-0,30	0,51		3,42 *	-0,21
Texting	75,90	11,04	-3,72 *	-2,90 *	-3,42 *		-3,63 *
Fahrt beobachten	72,26	8,72	-0,09	0,72	0,21	3,63 *	
Referenz	70,92	8,19	1,25 *	2,07 *	1,55	4,97 *	1,34

* signifikanter Unterschied der Mittelwertdifferenz ($\alpha=0,05$; Bonferroni korrigiert)

Die **Herzfrequenzvariabilität** wird in dieser Arbeit durch den Parameter rMSSD repräsentiert. Ein geringer rMSSD-Wert steht hierbei für eine höhere mentale Beanspruchung. Im Vergleich zu allen anderen Tätigkeiten können beim *Texting* (33,64 ms, SD = 16,14 ms) signifikant geringere Werte festgestellt werden. Die *Referenzmessung* (46,25 ms, SD = 22,87 ms) hingegen hat signifikant höhere rMSSD Werte, was mit einer geringeren Beanspruchung in Verbindung gebracht werden kann. Die Verteilung ist in Abbildung 5-20 dargestellt und in Tabelle 5-11 aufgelistet.

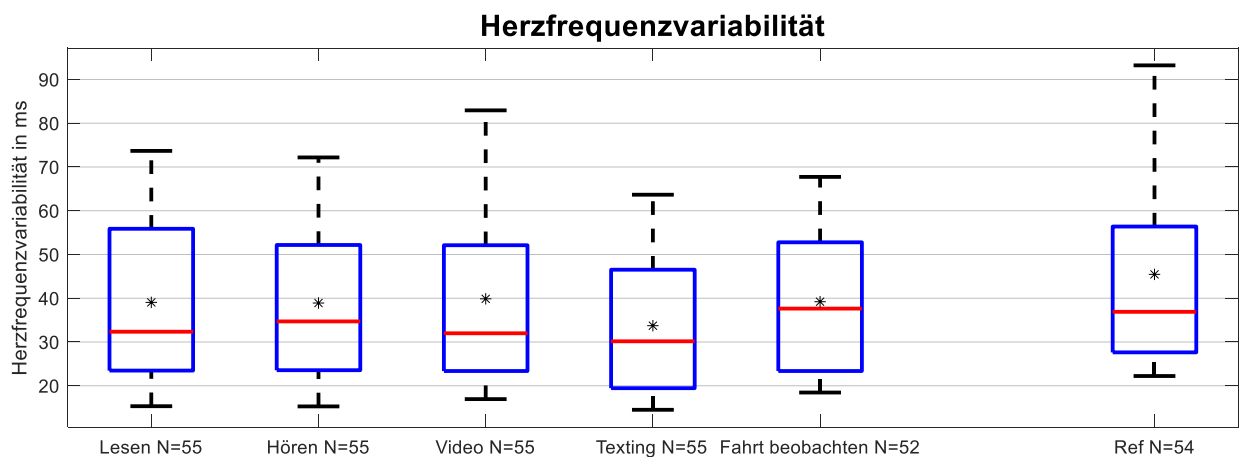


Abbildung 5-20: Boxplotdarstellung der Ergebnisse *Herzfrequenzvariabilität* in Abhängigkeit der untersuchten FFT in ms

Alle anderen Tätigkeiten liegen in einem ähnlichen Bereich und unterscheiden sich nicht signifikant voneinander. Eine Greenhouse-Geißer Korrektur wurde wegen unterschiedlicher Varianzen der FFT angewandt. Dabei stellte sich ein schwacher Effekt bei der inferenzstatistischen Statistik heraus [Greenhouse–Geisser $F(3,76, 191,93) = 16,62$, $p < 0,001$, $f = 0,24$], weshalb die Hypothese $H_{1,5}$ (Δ Herzfrequenzvariabilität (rMSSD)) beibehalten wird.

Tabelle 5-11: Übersicht der Ergebnisse *Herzfrequenzvariabilität* in ms

FFT	MW	SD	Text lesen	Hörbuch hören	Video schauen	Texting	Fahrt beobachten
Text lesen	39,11	19,49		-0,01	0,80	-5,47 *	0,08
Hörbuch hören	39,10	18,29	0,01		0,81	-5,45 *	0,09
Video schauen	39,92	21,62	-0,80	-0,81		-6,27 *	-0,71
Texting	33,64	16,14	5,47 *	5,45 *	6,27 *		5,55 *
Fahrt beobachten	39,20	17,06	-0,08	-0,09	0,71	-5,55 *	
Referenz	46,25	22,87	-7,13 *	-7,14 *	-6,33 *	-12,60 *	-7,04 *

* signifikanter Unterschied der Mittelwertdifferenz ($\alpha=0,05$; Bonferroni korrigiert)

Elektrodermale Aktivität

Der tonische Anteil des Hautleitwerts beschreibt die langfristige Veränderung der elektrodermalen Aktivität, welche durch den Parameter SCL ausgedrückt wird. Ein niedriger Wert korreliert mit einer niedrigeren Aktiviertheit. Abbildung 5-21 zeigt die SCL Verteilung über alle fünf FFT sowie den Referenzwert hinweg. Der niedrigste tonische Wert liegt bei der *Referenzmessung* ($0,27 \mu S$, $SD = 0,23 \mu S$) vor. *Hörbuch hören* ($0,38 \mu S$, $SD = 0,22 \mu S$), *Video schauen* ($0,35 \mu S$, $SD = 0,23 \mu S$) und *Fahrt beobachten* ($0,38 \mu S$, $SD = 0,22 \mu S$) liegen alle in einem sehr ähnlichen Bereich und unterscheiden sich signifikant von der Referenzmessung. Die größte Aktiviertheit kann beim *Texting* ($0,49 \mu S$, $SD = 0,25 \mu S$), gefolgt durch das *Text lesen* ($0,42 \mu S$, $SD = 0,22 \mu S$), beobachtet werden.

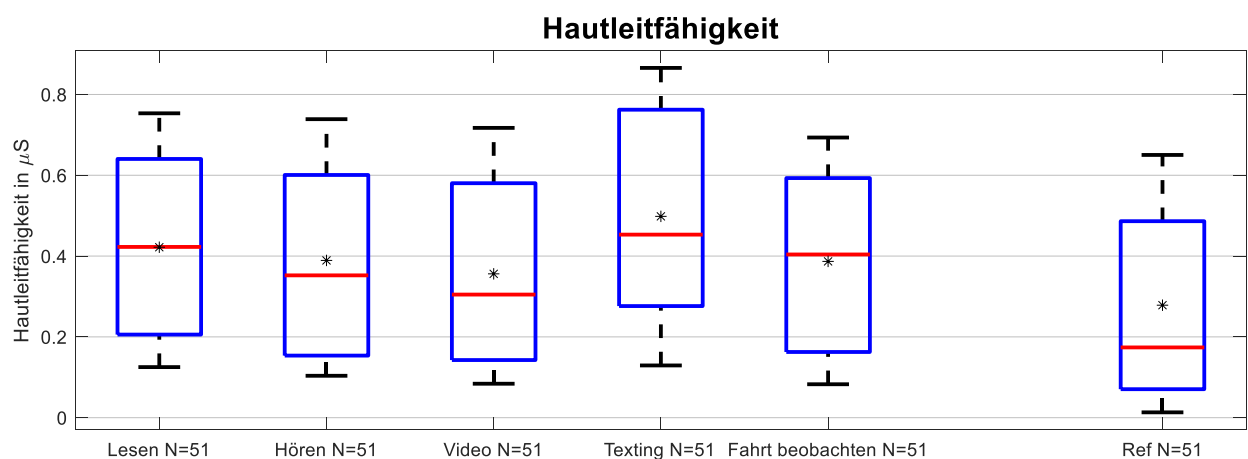


Abbildung 5-21: Boxplotdarstellung der Ergebnisse *Hautleitfähigkeit* in Abhängigkeit der untersuchten FFT in μS

Bei der inferenzstatistischen Auswertung wurde ebenfalls eine Greenhouse-Geißer Korrektur durchgeführt. Dabei zeigt sich ein geringer Effekt, welcher zu einer Annahme der Hypothese

$H_{1,6}$ (Δ Hautleitwert (SCL)) führt [Greenhouse-Geisser $F(4,36, 218,04) = 11,03$, $p < 0,001$, $f = 0,18$]. Eine detailliertere Übersicht ist in Tabelle 5-12 aufgeführt.

Tabelle 5-12: Übersicht der Ergebnisse *Hautleitfähigkeit* in μS

FFT	MW	SD	Text lesen	Hörbuch hören	Video schauen	Texting	Fahrt beobachten
Text lesen	0,42	0,22		-0,03	-0,06	0,07	-0,03
Hörbuch hören	0,38	0,22	0,03		-0,03	0,10 *	-0,00
Video schauen	0,35	0,23	0,06	0,03		0,14 *	0,03
Texting	0,49	0,25	-0,07	-0,10 *	-0,14 *		-0,11 *
Fahrt beobachten	0,38	0,22	0,03	0,00	-0,03	0,11 *	
Referenz	0,27	0,23	0,14 *	0,11 *	0,07	0,22 *	0,10 *

* signifikanter Unterschied der Mittelwertdifferenz ($\alpha=0,05$; Bonferroni korrigiert)

Zusammenfassend lässt sich für die psychophysiologischen Kennwerte *Lidschlussrate*, *Herzschlagfrequenz*, *Herzfrequenzvariabilität* und die *tonische Hautleitfähigkeit* das folgende Fazit ziehen. Die Tätigkeiten *Text lesen* und *Texting* unterscheiden sich für alle Kennwerte signifikant in Richtung höherer Beanspruchung in Bezug zur Referenzmessung. Diese beiden Tätigkeiten weichen je nach verwendeter Messmethode teilweise signifikant von den anderen drei Tätigkeiten *Hörbuch hören*, *Video schauen* und *Fahrt beobachten* ab. Insgesamt zeigen die psychophysiologischen Ergebnisse große Varianzen auf.

Leistungsbasierte Beanspruchungskennwerte

Im Folgenden werden die Ergebnisse der leistungsbasierten Beanspruchungskennwerte, welche durch die Sekundäraufgabe ermittelt wurden, vorgestellt. Diese Ergebnisse unterteilen sich in die Antwortrate sowie in die Reaktionszeit.

Antwortrate der Sekundäraufgabe

Reagiert der Versuchsteilnehmende nicht auf einen Stimulus beim Reiz-Reaktionszeittest, sinkt die Antwortrate entsprechend und es kann von einer höheren mentalen Beanspruchung ausgegangen werden. In Abbildung 5-22 sind die Antwortraten für alle FFT sowie die Referenzmessung aufgeführt und in Tabelle 5-13 als Übersicht dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass *Texting* (94,15 %, SD = 5,97 %) und *Text lesen* (97,26 %, SD = 3,74 %) die niedrigsten Antwortraten besitzen. *Video schauen* (99,57 %, SD = 1,30 %) und *Fahrt beobachten* (98,97 %, SD = 1,88 %) weisen höhere Antwortraten auf. Bei der Tätigkeit *Hörbuch hören* (100,00 %, SD = 0,00 %) sowie der *Referenzmessung* (100,00 %, SD = 0,00 %) reagierten alle Probanden auf jeden einzelnen Stimulus.

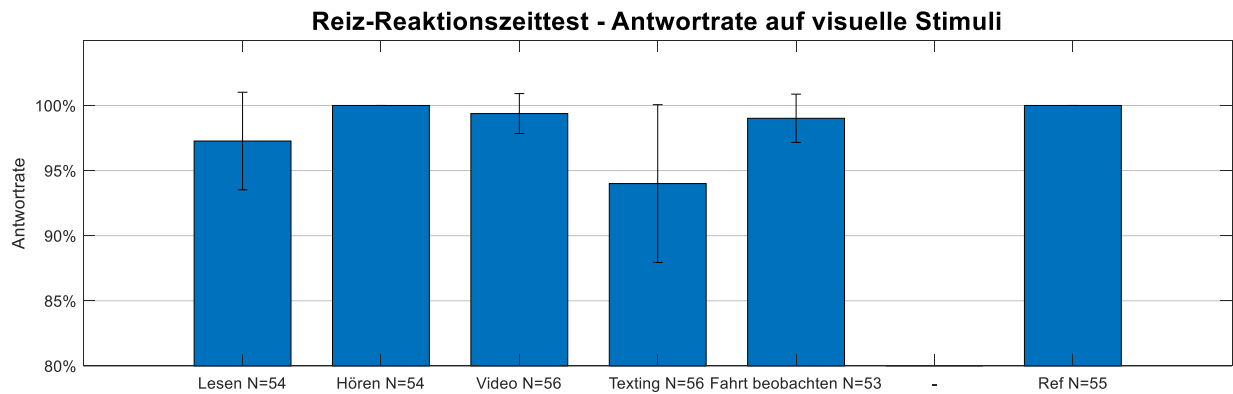


Abbildung 5-22: Balkendarstellung der Ergebnisse *Antwortrate* beim visuellen Reiz-Reaktionszeittest in Abhängigkeit der untersuchten FFT in %

Tabelle 5-13: Übersicht der Ergebnisse *Antwortrate* beim visuellen Reiz-Reaktionszeittest in %

FFT	MW	SD	Text lesen	Hörbuch hören	Video schauen	Texting	Fahrt beobachten
Text lesen	97,26	3,74		2,73 *	2,30 *	-3,11 *	1,71
Hörbuch hören	100,00	0,00	-2,73 *		-0,42	-5,84 *	-1,02 *
Video schauen	99,57	1,30	-2,30 *	0,42		-5,41 *	-0,59
Texting	94,15	5,97	3,11 *	5,84 *	5,41 *		4,82 *
Fahrt beobachten	98,97	1,88	-1,71	1,02 *	0,59	-4,82 *	
Referenz	100,00	0,00	-2,73 *	0,00	-0,42	-5,84 *	-1,02 *

* signifikanter Unterschied der Mittelwertdifferenz ($\alpha=0,05$; Bonferroni korrigiert)

Da die inferenzstatistische Analyse einen sehr großen Effekt bei diesem Untersuchungsparameter zeigt, wird die Hypothese $H_{1,7}$ (Δ Antwortrate (Reiz-Reaktionszeittest)) beibehalten [Greenhouse–Geisser $F(1,93, 96,93) = 31,68, p < 0,001, f = 0,41$].

Wie von DIN ISO 17488 (2016) empfohlen, wird im Folgendem der Auswertungsfokus auf die Reaktionszeiten gelegt, da die Antwortraten bei mehr als 80 % liegen.

Reaktionszeiten der Sekundäraufgabe

Da die Sensitivität bei dem Kennwert Antwortrate nicht als ausreichend angesehen wird, sollen im weiteren Verlauf die Reaktionszeiten näher betrachtet werden. Die Ergebnisse des visuellen Reiz-Reaktionszeittests sind in Abbildung 5-23 dargestellt. Längere Reaktionszeiten bei der Sekundäraufgabe korrelieren mit einer höheren mentalen Beanspruchung und einer höheren Aufmerksamkeitsallokation der FFT. Die längsten Reaktionszeiten sind beim *Texting* (536,73 ms, SD = 104,80 ms) und beim *Text lesen* (455,39 ms, SD = 113,20 ms) zu finden. *Video schauen* folgt darauf mit einer durchschnittlichen Reaktionszeit von 361,59 ms (SD = 74,27 ms). *Hörbuch hören* (346,92 ms, SD = 79,24 ms) und die *Fahrt beobachten* (336,34 ms, SD = 61,90 ms) weisen jeweils geringere Reaktionszeiten auf. Die Referenzmessung ergab die geringsten Reaktionszeiten mit (267,74 ms, SD = 46,05 ms).

Reiz-Reaktionszeittest - Reaktionszeiten auf visuelle Stimuli

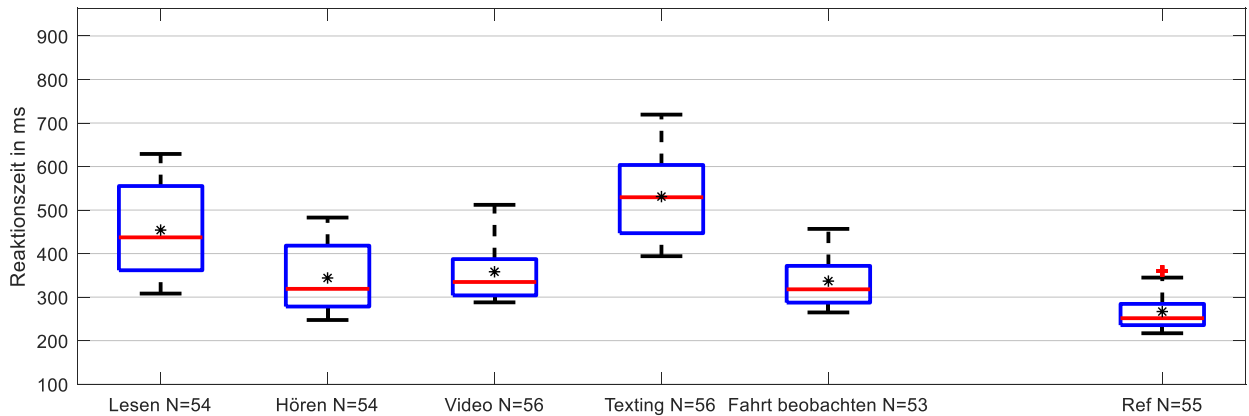


Abbildung 5-23: Boxplotdarstellung der Ergebnisse *Reaktionszeit* beim visuellen Reiz-Reaktionszeittest in Abhängigkeit der untersuchten FFT in ms

Tabelle 5-14: Übersicht der Ergebnisse *Reaktionszeit* beim visuellen Reiz-Reaktionszeittest in ms

FFT	MW	SD	Text lesen	Hörbuch hören	Video schauen	Texting	Fahrt beobachten
Text lesen	455,39	113,20		-108,47 *	-93,80 *	81,33 *	-119,05 *
Hörbuch hören	346,92	79,24	108,47 *		14,67	189,80 *	-10,58
Video schauen	361,59	74,27	93,80 *	-14,67		175,13 *	-25,25 *
Texting	536,73	104,80	-81,33 *	-189,80 *	-175,13 *		-200,39 *
Fahrt beobachten	336,34	61,90	119,05 *	10,58	25,25 *	200,39 *	
Referenz	267,74	46,05	187,65 *	79,18 *	93,85 *	268,99 *	68,60 *

* signifikanter Unterschied der Mittelwertdifferenz ($\alpha=0,05$; Bonferroni korrigiert)

Die inferenzstatistische Auswertung zeigt nach einer Greenhouse-Geißer Korrektur einen sehr großen Effekt in Abhängigkeit der einzelnen FFT [Greenhouse–Geisser $F(3,29, 164,85) = 154,13$, $p < 0,001$, $f = 1,13$]. Somit wird die Hypothese $H_{1,8}$ (Δ Reaktionszeit (Reiz-Reaktionszeittest)) auch bei diesem Kennwert beibehalten. Die weiterführende Analyse bestätigt, dass es zwischen den Tätigkeiten *Hörbuch hören* und *Video schauen* sowie zwischen *Hörbuch hören* und *Fahrt beobachten* keine signifikanten Unterschiede gibt, siehe Tabelle 5-14. Zusätzlich zu den soeben gezeigten visuellen Stimuli, wurden den Probanden des Weiteren akustische und taktile Reize angeboten. Eine detaillierte Übersicht, auch hinsichtlich dieser Reize, ist in Anhang H grafisch und tabellarisch aufgeführt. Alle FFT weisen eine signifikant längere Reaktionszeit zur Referenzmessung auf und auch in Abhängigkeit der FFT untereinander zeigt die Sekundäraufgabe eine hohe Unterscheidungsgüte auf. Selbst die Tätigkeit *Fahrt beobachten* führt bereits zu signifikant höheren Reaktionszeiten.

In Tabelle 5-15 und Tabelle 5-16 sind die Ergebnisse der auditiven sowie taktilen Stimuli aufgelistet, die die als grafische Darstellung in Anhang H eingesehen werden kann.

Tabelle 5-15: Übersicht der Ergebnisse *Reaktionszeit* beim auditiven Reiz-Reaktionszeittest in ms

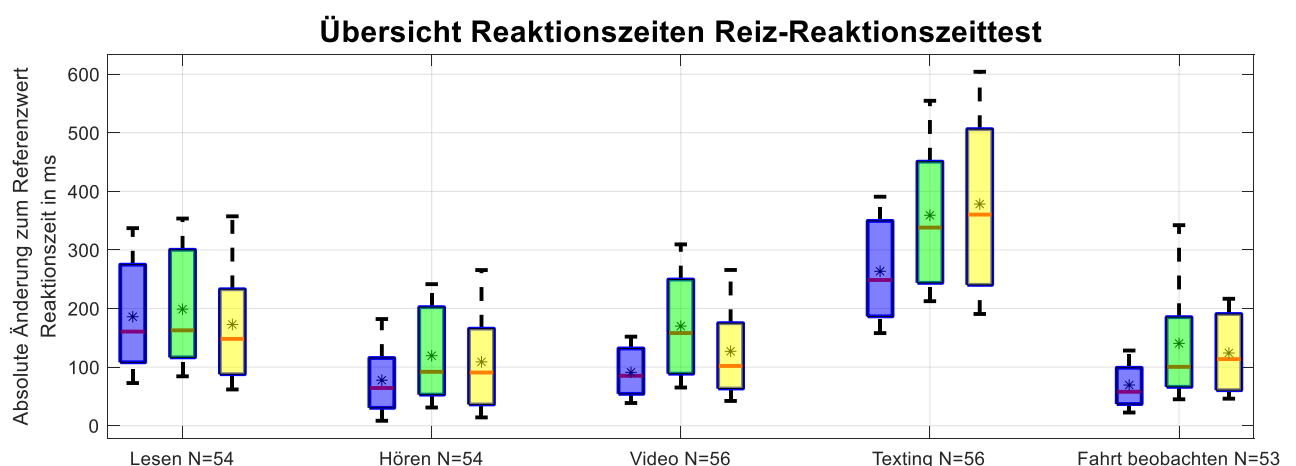
FFT	MW	SD	Lesen	Hören	Video	Texting	Fahrt beobachten
Lesen	437,33	126,52		-67,97 *	-27,40	163,27 *	-54,65 *
Hören	369,35	117,98	67,97 *		40,56	231,25 *	13,32
Video	409,92	108,90	27,40	-40,56		190,68 *	-27,24
Texting	600,61	148,37	-163,27 *	-231,25 *	-190,68 *		-217,93 *
Fahrt beobachten	382,67	138,65	54,65 *	-13,32	27,24	217,93 *	
Referenz	239,39	53,51	197,93 *	129,95 *	170,52 *	361,21 *	143,28 *

* signifikanter Unterschied der Mittelwertdifferenz ($\alpha=0,05$; Bonferroni korrigiert)Tabelle 5-16: Übersicht der Ergebnisse *Reaktionszeit* beim taktilen Reiz-Reaktionszeittest in ms

FFT	MW	SD	Lesen	Hören	Video	Texting	Fahrt beobachten
Lesen	440,57	133,83		-62,69 *	-52,64 *	205,66 *	-52,62 *
Hören	377,87	113,75	62,69 *		10,04	268,36 *	10,07
Video	387,92	112,03	52,64 *	-10,04		258,31 *	0,02
Texting	646,24	170,53	-205,66 *	-268,36 *	-258,31 *		-258,29 *
Fahrt beobachten	387,95	105,39	52,62 *	-10,07	-0,02	258,29 *	
Referenz	261,46	49,67	179,10 *	116,41 *	126,45 *	384,77 *	126,48 *

* signifikanter Unterschied der Mittelwertdifferenz ($\alpha=0,05$; Bonferroni korrigiert)

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Referenz-Reaktionszeiten in Abhängigkeit der Wahrnehmungsmodalitäten unterscheiden. So zeigt sich, dass die auditive Wahrnehmung (239,39 ms) im Mittelwert etwa 28 ms schneller als die visuelle Wahrnehmung (267,74 ms) stattfindet und die taktile Wahrnehmung 261,46 ms beträgt. Die mittleren Differenzen der untersuchten FFT unterscheiden sich in Abhängigkeit der Stimuliart (visuell, auditiv und taktil) nicht signifikant voneinander (vgl. Abbildung 5-24).

Abbildung 5-24: Boxplotdarstellung der Ergebnisse *Reaktionszeit* beim visuellen (blau), auditiven (grün) und taktilen (gelb) Reiz-Reaktionszeittest in Abhängigkeit der untersuchten FFT in ms

Leistungserfüllung der FFT

Für die Überprüfung, ob sich der Proband auch tatsächlich mit den FFT beschäftigten, wurden nach jedem Untersuchungsabschnitt Verständnisfragen zu den FFT *Text lesen*, *Hörbuch hören* und *Video schauen* gestellt, siehe Anhang G. Die Ergebnisse wurden über alle drei FFT gemittelt und nach den Versuchsabschnitten getrennt aufgeführt. Hierbei ist zu erkennen, dass während des Beanspruchungsabschnitts (vgl. Kapitel 5.1.2) signifikant mehr Fragen zu den FFT richtig beantwortet wurden (70,00 %, SD = 10,42 %), als wenn simultan eine Sekundäraufgabe in Form des Reiz-Reaktionszeittests (57,85 %, SD = 9,11 %) durchgeführt wurde, $t(55) = 50,246$, $p < 0,001$. Die Ergebnisse sind in Abbildung 5-25 grafisch dargestellt.

Zwei Personen beantworteten in jeweils einem Untersuchungsabschnitt (vgl. Kapitel 5.1.2) unter 40% der Fragen zur Primäraufgabe korrekt. Da auf Basis dessen nicht davon ausgegangen werden kann, dass die beiden Personen ihre Aufgabenpriorisierung zu Gunsten der FFT wählten, wurden ihre jeweiligen Abschnitsdaten von der weiterführenden Untersuchung ausgeschlossen.

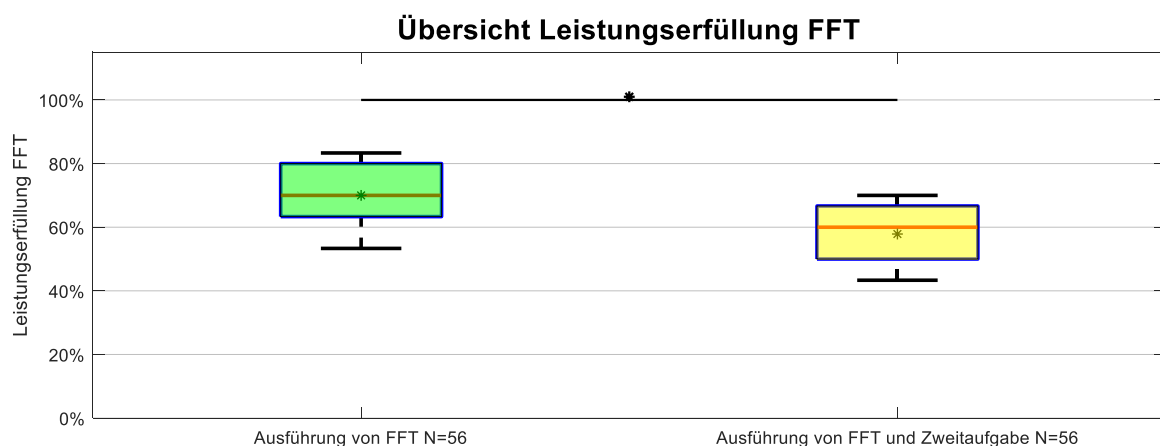


Abbildung 5-25: Boxplotdarstellung der Ergebnisse *Leistungserfüllung der FFT in Abhängigkeit der untersuchten Abschnitte Beanspruchungsuntersuchung (grün) und Sekundäraufgabe (gelb) in %*

Zusammenfassung der mentalen Beanspruchungsergebnisse

An dieser Stelle kann festgehalten werden, dass drei verschiedene Messansätze zur Bestimmung der mentalen Beanspruchung bei Ausführung verschiedener FFT während hochautomatisierter Fahrt verwendet wurden. Dabei zeigt sich ein einheitliches Bild bei den psychophysiologischen Daten sowie der leistungsbasierten Beanspruchungsmessung. Vor allem Texting und Text lesen sind besonders mental beanspruchend. Signifikante Unterschiede zwischen den übrigen drei FFT konnten je nach Messmethode kaum festgestellt werden. Weiter stellte sich heraus, dass sich die psychophysiologischen Daten im Vergleich zum Reiz-Reaktionszeittest weniger sensitiv auflösen. Im Hinblick auf die subjektiv empfundene Beanspruchung zeigte sich, dass die Beanspruchung beim Texting im Vergleich zu den anderen FFT als geringer empfunden wurde. Dies unterscheidet sich zu allen anderen untersuchten Messgrößen. Des Weiteren zeigt sich über alle Messsysteme (außer Lidschlussrate), dass die

Referenzmessung, die am wenigsten beanspruchende Tätigkeit darstellt, da hier die Probanden weder hochautomatisiert gefahren wurden noch eine weitere FFT ausführten. Bis auf die subjektiv empfundene Beanspruchung zeigt sich, dass Texting die mental beanspruchendste Tätigkeit darstellt.

5.2.2 Situationsbewusstsein beim Ausführen von FFT

Im weiteren Verlauf werden die drei Situationsbewusstseinsmessungen für alle fünf FFT einzeln vorgestellt. Im Anschluss daran folgt eine Zusammenfassung aller Ergebnisse. Eine Referenzmessung wie bei den Beanspruchungsmessungen fand nicht statt.

Situationsbewusstsein ohne Vorwarnzeit

Die Ergebnisse der Situationsbewusstseinsmessung wurden anhand des SAGAT-Verfahrens durchgeführt. Für die Messung des Situationsbewusstseins ohne Vorwarnzeit wurde die Simulation an einer für den Probanden nicht ersichtlichen Stelle pausiert. Zusätzlich wurden die Leinwände zeitgleich geschwärzt. In Abbildung 5-26 ist das vorhandene Situationsbewusstsein während der Ausführung der verschiedenen FFT dargestellt. Die Probanden mussten durch Beantwortung eines standardisierten Fragebogens die aktuelle Situation wiedergeben. Je mehr Fragen richtig beantwortet wurden, desto höher das Situationsbewusstsein.

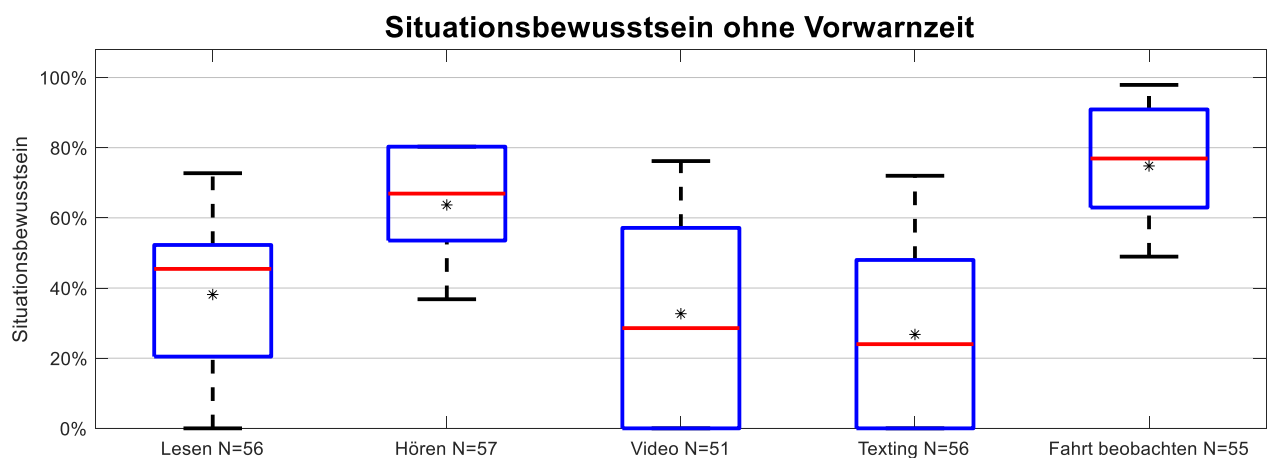


Abbildung 5-26: Boxplotdarstellung der Ergebnisse *Situationsbewusstsein ohne Vorwarnzeit* in Abhängigkeit der untersuchten FFT in %

An dieser Stelle zeigt sich, dass FFT ohne visuelle Ablenkung vom Fahrgeschehen, wie die Fahrt beobachten (74,37 %, SD = 16,70 %) und Hörbuch hören (64,03 %, SD = 14,79 %), zu einem deutlich besseren Situationsbewusstsein führen als Tätigkeiten mit höherer visueller Ablenkung. Das Texting weist bei den getesteten FFT das niedrigste Situationsbewusstseinergebnis auf (29,02 %, SD = 29,42 %). Dieses unterscheidet sich jedoch nicht signifikant von Text lesen (38,72 %, SD = 22,19 %) und Video schauen (33,33 %, SD = 27,69 %). Eine detailliertere Übersicht über die

Ergebnisse ist in Tabelle 5-17 dargestellt. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen einen sehr großen Effekt bei der inferenzstatistischen Analyse, $F(4, 196) = 43,84$, $p < 0,001$, $f = 0,53$.

Tabelle 5-17: Übersicht der Ergebnisse *Situationsbewusstsein ohne Vorwarnzeit* in %

FFT	MW	SD	Text lesen	Hörbuch hören	Video schauen	Texting
Text lesen	38,72	22,19		25,31 *	-5,39	-9,70
Hörbuch hören	64,03	14,79	-25,31 *		-30,70 *	-35,01 *
Video schauen	33,33	27,69	5,39	30,70 *		-4,31
Texting	29,02	29,42	9,70	35,01 *	4,31	
Fahrt beobachten	74,37	16,70	-35,65 *	-10,34 *	-41,04 *	-45,35 *

* signifikanter Unterschied der Mittelwertdifferenz ($\alpha=0,05$; Bonferroni korrigiert)

Die Annahme, dass sich das Situationsbewusstsein unter den verschiedenen FFT unterscheidet, konnte wie oben erläutert statistisch belegt werden, sodass die Hypothese $H_{2.1,1}$ (ΔSAGAT_0) beibehalten werden kann. Besonders visuell ablenkende FFT weisen ein signifikant niedrigeres Situationsbewusstsein auf.

Situationsbewusstsein mit Vorwarnzeit

Im weiteren Verlauf werden die Ergebnisse des vorhandenen Situationsbewusstseins mit kurzer und langer Vorwarnzeit vorgestellt. Ziel der Untersuchung war es herauszufinden, wie lange es dauert, bis das Situationsbewusstsein ausreichend aufgebaut werden kann.

Kurze Vorwarnzeit

Die Ergebnisse des Situationsbewusstseins mit kurzer Vorwarnzeit (2 s) sind in Abbildung 5-27 dargestellt. Im direkten Vergleich mit den Situationsbewusstseinsergebnissen ohne Vorwarnzeit ist ersichtlich, dass bereits zwei Sekunden ausreichen, um das Situationsbewusstsein deutlich zu steigern.

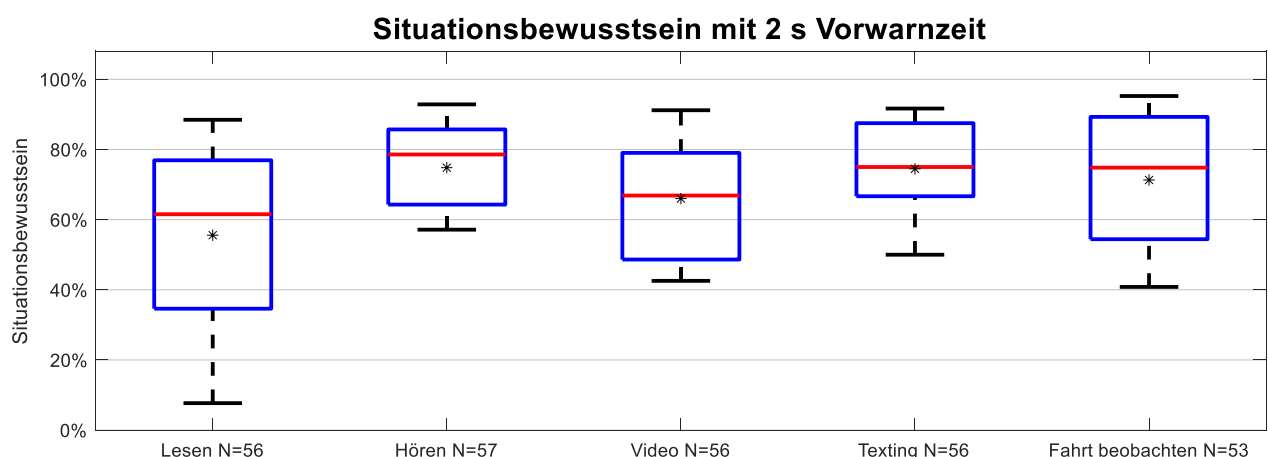


Abbildung 5-27: Boxplotdarstellung der Ergebnisse *Situationsbewusstsein mit kurzer Vorwarnzeit* in Abhängigkeit der untersuchten FFT in %

Die FFT *Hörbuch hören* (75,60 %, SD = 12,79 %), *Texting* (74,76 %, SD = 14,13 %) und *Fahrt beobachten* (71,30 %, SD = 19,79 %) führen zu sehr ähnlichen Ergebnissen und unterscheiden sich nicht signifikant

voneinander. *Text lesen* (55,58 %, SD =27,88 %) und *Video schauen* (65,95 %, SD =17,17 %) führen hingegen trotz zwei Sekunden Vorwarnzeit zu signifikant schlechteren Ergebnissen im Vergleich zu den drei zuvor genannten FFT. Eine vollständige Übersicht ist in Tabelle 5-18 aufgeführt.

Tabelle 5-18: Übersicht der Ergebnisse *Situationsbewusstsein mit kurzer Vorwarnzeit* in %

FFT	MW	SD	Text lesen	Hörbuch hören	Video schauen	Texting
Text lesen	55,58	27,88		20,01 *	10,36 *	19,17 *
Hörbuch hören	75,60	12,79	-20,01 *		-9,65 *	-0,84
Video schauen	65,95	17,17	-10,36 *	9,65 *		8,81 *
Texting	74,76	14,13	-19,17 *	0,84	-8,81 *	
Fahrt beobachten	71,30	19,79	-15,72 *	4,29	-5,35	3,45

* signifikanter Unterschied der Mittelwertdifferenz ($\alpha=0,05$; Bonferroni korrigiert)

Die Hypothese $H_{2.3,1}$, welche besagt, dass es beim Situationsbewusstsein zu keinem signifikanten Unterschied zwischen den FFT kommt (ΔSAGAT_2), wenn eine kurze Vorwarnzeit vorhanden ist, muss aufgrund des statistischen Tests abgelehnt werden. So zeigen sich vor allem signifikant schlechtere Ergebnisse der FFT *Text lesen* und *Video schauen*. Die korrigierten Testergebnisse zeigen derweil einen schwachen Effekt [Greenhouse–Geisser $F(3,21, 167,22) = 12,28, p < 0,001, f = 0,19$].

Lange Vorwarnzeit

Die Ergebnisse des Situationsbewusstseins mit einer langen Vorwarnzeit (8 s) sind in Abbildung 5-28 zu sehen und in Tabelle 5-19 zusammengefasst. Hierbei zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei den Ergebnissen mit einer kurzen Vorwarnzeit (2 s). *Hörbuch hören* (76,48 %, SD =19,46 %), *Texting* (78,82 %, SD =12,65 %) und *Fahrt beobachten* (78,23 %, SD =12,69 %) führen zu einheitlich hohen Situationsbewusstseinswerten. *Video schauen* (69,39 %, SD =17,59 %) und vor allem *Text lesen* (55,92 %, SD =14,67 %) führen hingegen auch bei acht Sekunden Vorwarnzeit zu deutlich schlechteren Ergebnissen als die anderen drei untersuchten FFT. Die Greenhouse-Geißer korrigierte Varianzanalyse führt trotz längerer Vorwarnzeit zu einem mittleren Effekt bei der statistischen Betrachtung der Ergebnisse [Greenhouse–Geisser $F(3,35, 174,28) = 24,99, p < 0,001, f = 0,33$]. Auf Basis dieser Ergebnisse muss die Hypothese $H_{2.3,2}$ (ΔSAGAT_8) verworfen werden, da auch acht Sekunden nicht ausreichen, um über alle FFT hinweg ein einheitliches Situationsbewusstsein aufzubauen. *Text lesen* sowie *Video schauen* unterscheiden sich im Vergleich zu den anderen FFT signifikant.

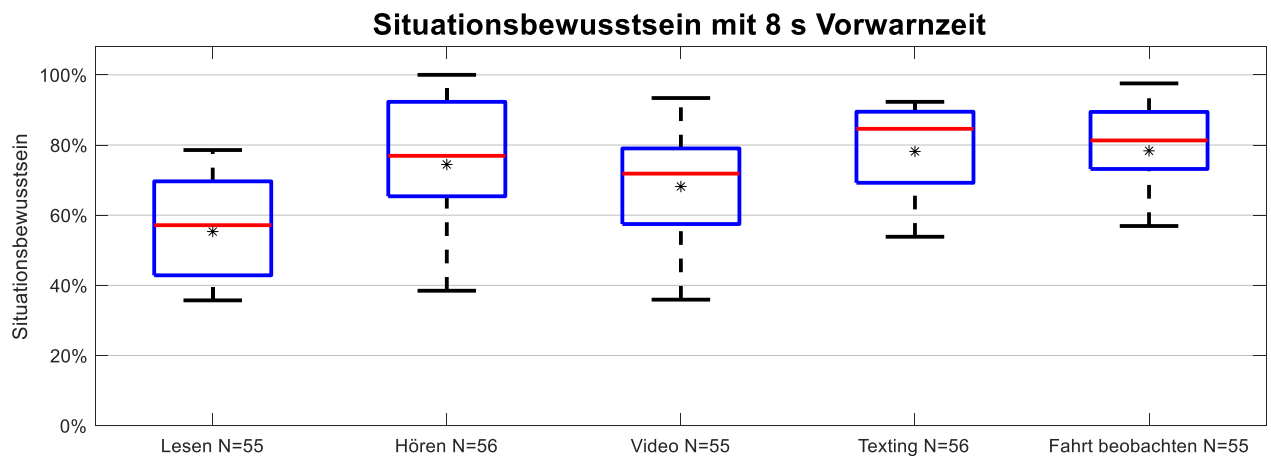


Abbildung 5-28: Boxplotdarstellung der Ergebnisse *Situationsbewusstsein mit langer Vorwarnzeit* in Abhängigkeit der untersuchten FFT in %

Tabelle 5-19: Übersicht der Ergebnisse *Situationsbewusstsein mit langer Vorwarnzeit* in %

FFT	MW	SD	Text lesen	Hörbuch hören	Video schauen	Texting
Text lesen	55,92	14,67		20,55 *	13,46 *	22,89 *
Hörbuch hören	76,48	19,46	-20,55 *		-7,08	2,33
Video schauen	69,39	17,59	-13,46 *	7,08		9,42 *
Texting	78,82	12,65	-22,89 *	-2,33	-9,42 *	
Fahrt beobachten	78,23	12,67	-22,30 *	-1,74	-8,83 *	0,59

* signifikanter Unterschied der Mittelwertdifferenz ($\alpha=0,05$; Bonferroni korrigiert)

Vergleich der Situationsbewusstseinsergebnisse

An dieser Stelle werden alle Situationsbewusstseinsergebnisse auf Basis eines Überblicks in Abbildung 5-29 sowie in Tabelle 5-20 resümiert. Mittels * werden signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen zeitlichen Faktoren (ohne, mit kurzer sowie mit langer Vorwarnzeit) gekennzeichnet. Dabei zeigt sich deutlich, dass die Versuchsteilnehmer bereits nach zwei Sekunden, mit Ausnahme der Tätigkeit Fahrt beobachten, ein signifikant besseres Situationsbewusstsein aufbauten, als wenn keine vorherige Warnung stattfand. Des Weiteren zeigt sich, dass zwischen kurzer und langer Vorwarnzeit, bis auf Texting und Fahrt beobachten, keine signifikanten Unterschiede messbar sind. Die Unterschiede zwischen kurzer und langer Vorwarnzeit beim Texting ($d = 0,24$) sowie bei Fahrt beobachten ($d = 0,32$) weisen eine kleine Effektstärke auf. Die Einzelbetrachtungen aus Abbildung 5-29 werden über alle FFT hinweg gemittelt und in Abbildung 5-30 nochmals zusammengefasst. Dabei kann festgestellt werden, dass es trotz der hohen Situationsbewusstseinswerten bei Fahrt beobachten und Hörbuch hören ohne Vorwarnzeit zu signifikanten Unterschieden bei der Zusammenfassung der Ergebnisse kommt. Im Mittel entspricht das Situationsbewusstsein ohne Vorwarnzeit 49,00 % (SD = 12,39 %) und ist nach statistischen Untersuchungen signifikant geringer als das Situationsbewusstsein mit kurzer Vorwarnzeit (H2.2,1, 70,01 %, SD = 10,89 %) sowie signifikant geringer als das Situationsbewusstsein mit langer Vorwarnzeit (H2.2,2, 72,58 %, SD = 9,12 %). Zwischen den gemittelten Werten des

Situationsbewusstseins mit kurzer bzw. langer Vorwarnzeit konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Daher muss die Hypothese H2.2,3 (SAGAT8 > SAGAT2) verworfen werden. Eine detailliertere Ergebnisübersicht ist in Tabelle 5-21 zu finden.

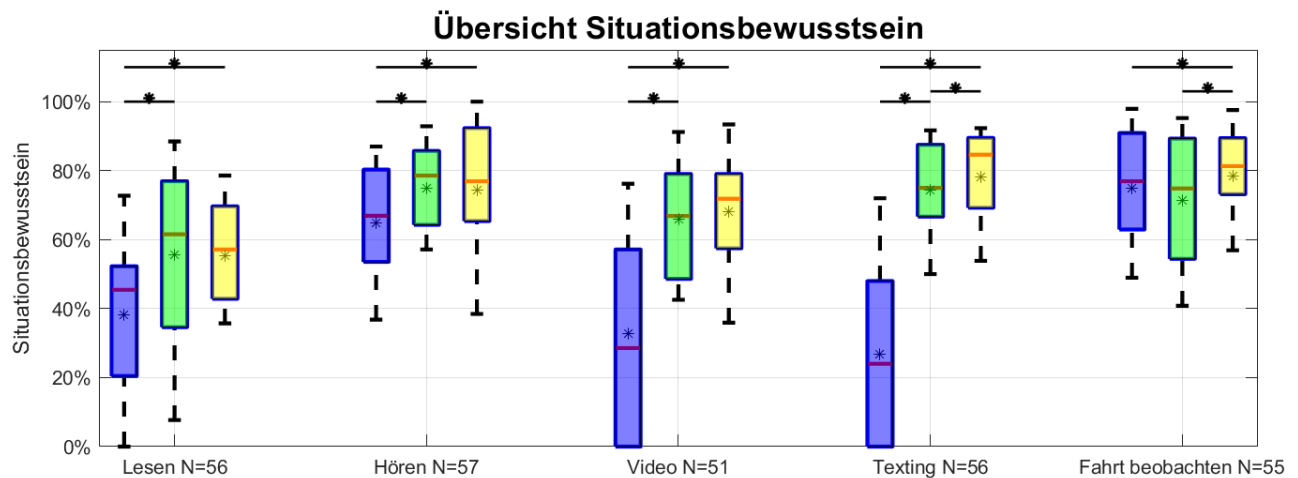


Abbildung 5-29: Boxplotdarstellung der Situationsbewusstseinsergebnisse *ohne* (blau), *mit kurzer* (grün) sowie *langer* (gelb) Vorwarnzeit in %, Signifikante Unterschiede mit einem * gekennzeichnet

Tabelle 5-20: Übersicht der Situationsbewusstseinsergebnisse – Gesamt in %

FFT	Ohne Vorwarnzeit		Kurze Vorwarnzeit		Lange Vorwarnzeit		0-2	0-8	2-8
	MW	SD	MW	SD	MW	SD			
Text lesen	38,72	22,19	55,58	27,88	55,92	14,67	16,86*	17,2*	0,34
Hörbuch hören	64,03	14,79	75,60	12,79	76,48	19,46	11,57*	12,45*	0,88
Video schauen	33,33	27,69	65,95	17,17	69,39	17,59	32,62*	36,06*	3,44
Texting	29,02	29,42	74,76	14,13	78,82	12,65	45,74*	49,80*	4,06*
Fahrt beobachten	74,37	16,70	71,30	19,79	78,23	12,67	-3,07	3,86*	6,93*

* signifikanter Unterschied der Mittelwertdifferenz ($\alpha=0,05$; Bonferroni korrigiert)

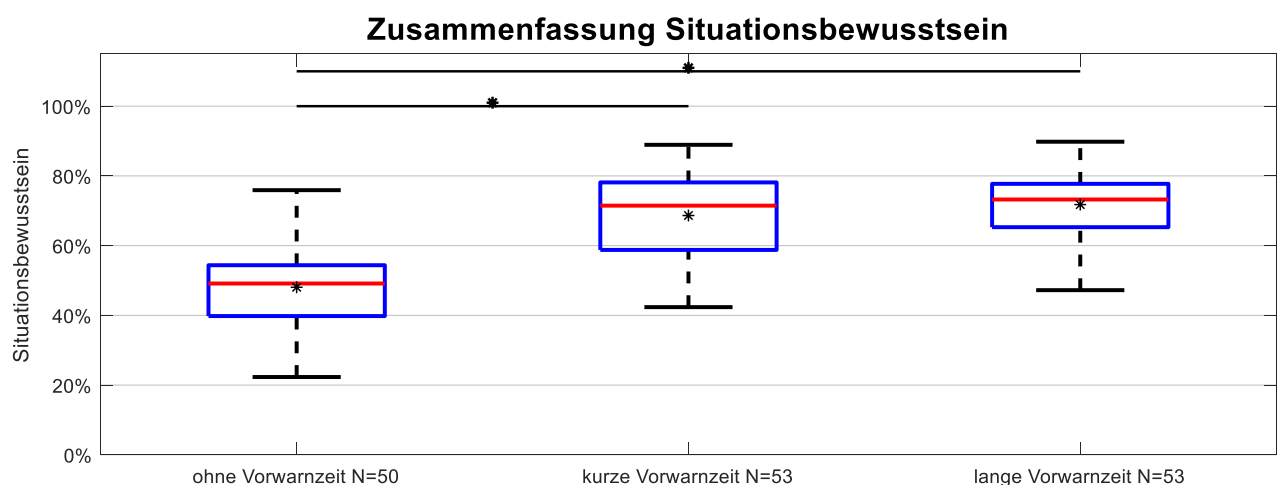


Abbildung 5-30: Zusammenfassung der Situationsbewusstseinsergebnisse in % (Gemittelt über alle FFT)

Tabelle 5-21: Übersicht der Situationsbewusstseinsresultate in % (Gemittelt über alle FFT)

Situationsbewusstsein	MW	SD	Ohne Vorwarnzeit	Kurze Vorwarnzeit
Ohne Vorwarnzeit	49,00	12,39		21,01*
Kurze Vorwarnzeit	70,01	10,89	-21,01*	
Lange Vorwarnzeit	72,58	9,12	-23,58*	2,57

* signifikanter Unterschied der Mittelwertdifferenz ($\alpha=0,05$; Bonferroni korrigiert)

5.2.3 Rückübernahmefähigkeit von automatisierter Fahrt zu manueller Fahrzeugführung

In diesem Unterkapitel werden einerseits die Ergebnisse der Übernahmezeit sowie andererseits die Übernahmequalität von automatisierter zu manueller Fahrzeugführung in Abhängigkeit der fünf verschiedenen FFT erläutert.

Rückübernahmezeit

Die Rückübernahmezeit wird in diesem Unterkapitel durch die Kennwerte *erster Blick auf die Straße* sowie *minimale Rückübernahmezeit* beschrieben. Die beiden Kennwerte sollten möglichst gering sein, um von einer guten Übernahmefähigkeit sprechen zu können. Zusätzlich wird noch die zeitliche Differenz beider genannten Kennwerte berechnet, um den Vergleich zur kognitiven Beanspruchungsmessung bei manueller Fahrzeugführung zu ziehen (vgl. Kapitel 2.2.3).

Der Kennwert **erster Blick auf die Straße** bildet die Zeitspanne zwischen der Aktivierung der Übernahmeaufforderung und dem ersten Blick, den der Proband auf die Straße richtet, ab. Aufgrund technischer Probleme der Blickbewegungsbrille konnten einige Datensätze jedoch nicht berücksichtigt werden. Daher beträgt die Probandenanzahl bei diesem Kennwert zwischen 39 - 46 Personen. In Abbildung 5-31 sind die Ergebnisse grafisch dargestellt. Dabei ist zu erkennen, dass bei der FFT *Fahrt beobachten* (MW = 0,00 ms, SD = 0,00 ms) bereits alle Probanden während der Übernahmeaufforderung auf die Straße blickten. Bei der FFT *Hörbuch hören* gab es insgesamt vier Personen, die während der Übernahmeaufforderung nicht auf die Straße blickten, sodass der Mittelwert 60,73 ms (SD = 115,37 ms) beträgt. Im Mittel dauerte es beim *Lesen* am längsten bis die Versuchsteilnehmer auf die Straße blickten (790,14 ms, SD = 318,93 ms). Im Vergleich dazu sind die Reaktionszeiten beim *Texting* (758,79 ms, SD = 368,28 ms) im Mittel tendenziell geringer. Jedoch konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden FFT festgestellt werden. Signifikant geringere Reaktionszeiten konnten bei der Tätigkeit *Video schauen* (495,00 ms, SD = 398,60 ms) im Vergleich zum *Lesen* oder *Texting* identifiziert werden. Noch ausführlichere Ergebnisse sind in Tabelle 5-22 aufgeführt.

Wie schon angemerkt, konnten signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen FFT festgestellt werden. Diese wurden durch eine Greenhouse-Geißer korrigierte Varianzanalyse mit großer Effektstärke und anschließender Post-hoc Tests bestätigt [Greenhouse-Geisser $F(2,65, 87,61) = 64,67$, $p < 0,001$, $f = 0,87$]. Die Hypothese $H_{3.1.1}$ (Δ Blick auf die Straße) wird daher beibehalten.

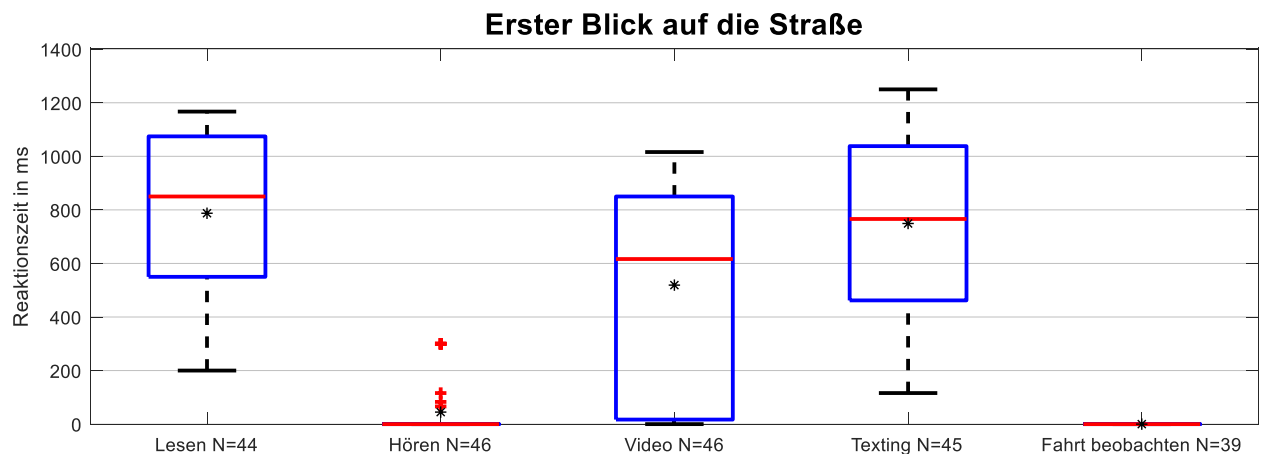


Abbildung 5-31: Boxplotdarstellung der Ergebnisse *Erster Blick auf die Straße nach RÜA* in Abhängigkeit der untersuchten FFT in ms

Tabelle 5-22: Übersicht der Ergebnisse *Erster Blick auf die Straße nach RÜA* in ms

FFT	MW	SD	Text lesen	Hörbuch hören	Video schauen	Texting
Text lesen	790,14	318,93		-729,41 *	-295,14 *	-31,35
Hörbuch hören	60,73	115,37	729,41 *		434,26 *	698,05 *
Video schauen	495,00	398,60	295,14 *	-434,26 *		263,79
Texting	758,79	368,28	31,35	-698,05 *	-263,79	
Fahrt beobachten	0,00	0,00	790,14 *	60,73 *	495,00 *	758,79 *

* signifikanter Unterschied der Mittelwertdifferenz ($\alpha=0,05$; Bonferroni korrigiert)

Die Rückübernahme durch den Probanden kann einerseits durch ein Aufbringen eines Lenkwinkels von $> 3^\circ$ oder andererseits durch das Betätigen der Bremse um mehr als 10 % erfolgen (vgl. Kapitel 5.1.7). Da nicht vorgegeben war, wie die Versuchsteilnehmer reagieren sollen, wird der minimale Wert beider Größen nachfolgend als **minimale Rückübernahmezeit** in Abhängigkeit der ausgeführten FFT betrachtet. Der Kennwert ergibt sich aus der zeitlichen Differenz zwischen RÜA und Lenk- oder Bremseneingriff durch die Versuchsperson. Die Ergebnisse sind in Abbildung 5-32 dargestellt sowie in Tabelle 5-23 aufgelistet. Die durchschnittlich längste minimale Übernahmezeit konnte bei der FFT *Text lesen* festgestellt werden (1,64 s, SD = 0,31 s, 90. Perz. = 2,48 s). Diese ist signifikant länger als alle anderen untersuchten FFT. *Video schauen* (1,48 s, SD = 0,24 s 90. Perz. = 2,49 s) und *Texting* (1,49 s, SD = 0,28 s, 90. Perz. = 3,42 s) sind in einem sehr ähnlichen Bereich und die Rückübernahme dauert signifikant länger als bei den FFT *Hörbuch hören* (1,10 s, SD = 0,25 s, 90. Perz. = 1,83 s) und *Fahrt beobachten* (1,11 s, SD = 0,38 s, 90. Perz. = 3,02 s). Die beiden letztgenannten unterscheiden sich dabei nicht voneinander. Eine korrigierte Varianzanalyse weist einen starken Effekt auf, [Greenhouse–Geisser $F(3,32, 172,86) = 54,46$, $p < 0,001$, $f = 0,59$], dadurch wird Hypothese $H_{3,1,2}$ (Δ minimale Übernahmezeit) nicht verworfen.

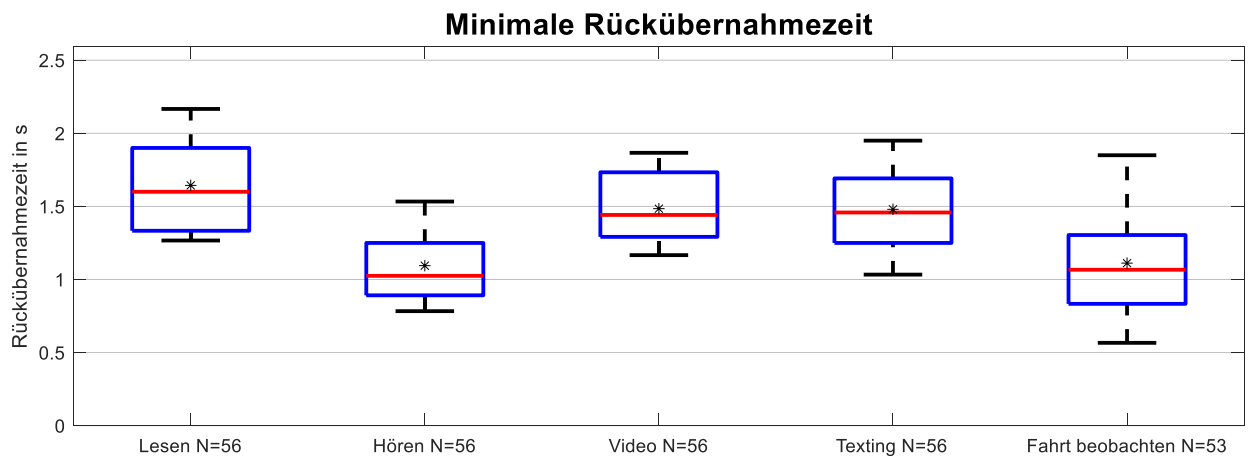


Abbildung 5-32: Boxplotdarstellung der Ergebnisse *Minimale Rückübernahmezeit nach RÜA* in Abhängigkeit der untersuchten FFT in s

Tabelle 5-23: Übersicht der Ergebnisse *Minimale Rückübernahmezeit nach RÜA* in s

FFT	MW	SD	Text lesen	Hörbuch hören	Video schauen	Texting
Text lesen	1,64	0,31		-0,54 *	-0,16 *	-0,15 *
Hörbuch hören	1,10	0,25	0,54 *		0,38 *	0,39 *
Video schauen	1,48	0,24	0,16 *	-0,38 *		0,01
Texting	1,49	0,28	0,15 *	-0,39 *	-0,01	
Fahrt beobachten	1,11	0,38	0,53 *	-0,00	0,37 *	0,38 *

* signifikanter Unterschied der Mittelwertdifferenz ($\alpha=0,05$; Bonferroni korrigiert)

Wie bereits in Kapitel 2.2.3 erwähnt kann bei manueller Fahrt die Zeit zwischen dem Blick auf die Straße und dem Eingreifen ein Indikator für die Beanspruchung sein. Um diese Messansatz auch für die hochautomatisierte Fahrt zu überprüfen, wird in dieser Arbeit die zeitliche Differenz zwischen dem Kennwert *erster Blick auf die Straße* und *minimale Rückübernahmezeit* für jede RÜA einzeln berechnet. Da beim Kennwert *erster Blick auf die Straße* bei den FFT *Hörbuch hören* und *Fahrt beobachten* die meisten Versuchsteilnehmer (96 %) zum Zeitpunkt der RÜA den Blick bereits auf die Straße gerichtet hatten, wurden diese beiden FFT von der nachfolgenden Analyse ausgeschlossen. In Abbildung 5-33 ist die beschriebene zeitliche Differenz dargestellt. Die Varianzanalyse zeigt, dass es zwischen den drei verbleibenden FFT keine signifikanten Unterschiede gibt, $F(2, 58) = 1,17$, $p = 0,31$. Eine detailliertere Auflistung der Berechnungsergebnisse ist in Tabelle 5-24 zu finden.

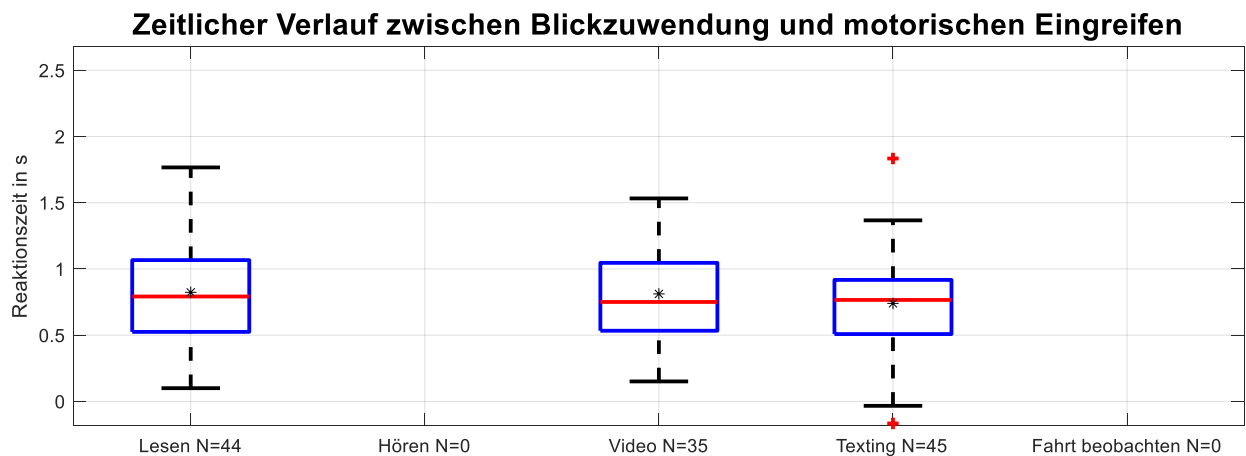


Abbildung 5-33: Boxplotdarstellung der Ergebnisse *Zeitlicher Verlauf zwischen Blickzuwendung und motorischen Eingreifen* in Abhängigkeit der untersuchten FFT in s

Tabelle 5-24: Übersicht der Ergebnisse *Zeitlicher Verlauf zwischen Blickzuwendung und motorischem Eingreifen* in s

FFT	MW	SD	Text lesen	Video schauen
Text lesen	0,81	0,41		-0,01
Video schauen	0,80	0,38	0,01	
Texting	0,71	0,39	0,11	0,1

* signifikanter Unterschied der Mittelwertdifferenz ($\alpha=0,05$; Bonferroni korrigiert)

Die Ergebnisse zeigen, dass es hinsichtlich des hier betrachteten Kennwerts in Abhängigkeit der untersuchten FFT keine signifikanten Unterschiede gibt. Somit ist das Zeitfenster zwischen dem ersten auf die Straße gerichteten Blick sowie dem tatsächlichen Eingreifen unabhängig von der jeweiligen FFT. Die Hypothese $H_{3.1,3}$ (Δ Delta erster Blick auf die Straße und minimale Übernahmezeit) muss daher abgelehnt werden.

Rückübernahmequalität

In diesem Unterkapitel werden vier Kenngrößen für die Übernahmequalität vorgestellt – das *Rückübernahmeverhalten*, die *Kollisionsanzahl*, die *TTC* und die subjektive Expertenbeurteilung *TOC-Rating* zur Übernahmesituation im Generellen.

Die RÜA nach hochautomatisierter Fahrt wurde bisher noch nicht in der Stadt untersucht. Es gab keine Versuchsanweisung wie sich die Personen im Falle einer RÜA verhalten sollten. Die Studienteilnehmer konnten aufgrund der geringen Geschwindigkeit (50 km/h) am Hindernis vorbeifahren oder auch eine Vollbremsung bis zum Stillstand des Fahrzeugs durchzuführen.

Eine Häufigkeitsverteilung des **Rückübernahmeverhaltens** ist in Abbildung 5-34 dargestellt. Hierbei zeigt sich, dass etwa 30 bis 38 % der Versuchsteilnehmer bei einem Zeitbudget von sechs Sekunden nicht verzögerten und eine Übernahme mittels einer Ausweichenlenkbewegung vollzogen. In Abhängigkeit der untersuchten FFT gibt es keine Unterschiede zwischen Lenk- und Verzögerungsverhalten, da diese über die untersuchten FFT hinweg gleichverteilt waren. Betrachtet man die Personenanzahl, die eine

Vollbremsung bis zum Stillstand durchgeführt hat, kann man erkennen, dass es bei den FFT Text lesen (41 %) und Video schauen (52 %) häufiger zu einer Vollbremsung kam, als bei Hörbuch hören (30 %), Texting (34 %) und Fahrt beobachten (23 %). Es konnten keine Unterschiede beim Verzögerungsverhalten der Versuchsteilnehmer, die keine Vollbremsung vollzogen, sondern die Fahrzeugführungsübernahme durch ein leichtes Bremsen initiierten, in Abhängigkeit der jeweiligen FFT festgestellt werden.

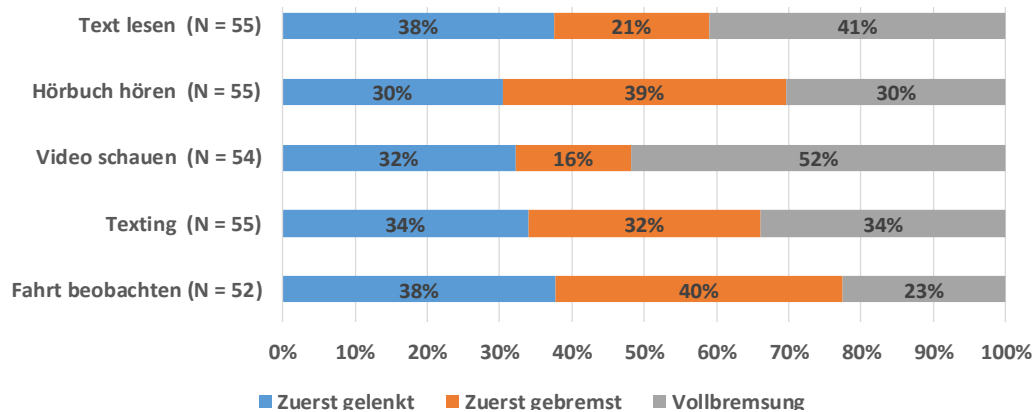


Abbildung 5-34: Übernahmeverhalten in Abhängigkeit der untersuchten FFT

Das Zeitbudget von sechs Sekunden reichte aus, dass es zu keiner **Kollision** mit dem Hindernis kam. Aus diesem Grund kann dieser Kennwert nicht zur Beurteilung der Übernahmequalität herangezogen werden. Die Daten zum Kennwert *TTC* sind in Abbildung 5-35 aufgeführt. Dabei steht eine längere *TTC* für eine bessere Übernahmequalität, da mehr Zeit zur Verfügung steht, um eine drohende Kollision zu vermeiden. Es zeigt sich, dass bei der FFT *Text lesen* (4,22 s, SD = 0,42 s) der Kennwert *Time-to-Collision* geringer als bei *Hörbuch hören* (4,33 s, SD = 0,34 s) sowie signifikant geringer als bei *Video schauen* (4,48 s, SD = 0,36 s), *Texting* (4,60 s, SD = 0,40 s) und *Fahrt beobachten* (4,69 s, SD = 0,58 s) ist. Detailliertere Ergebnisse sind in Tabelle 5-25 aufgelistet. Da die Greenhouse-Geißer korrigierte statistische Untersuchung einen mittleren Effekt ($F(3,14, 157,46) = 18,11, p < 0,001, f = 0,26$) zeigt, kann Hypothese $H_{3.2.2}$ (ΔTTC) nicht widerlegt werden.

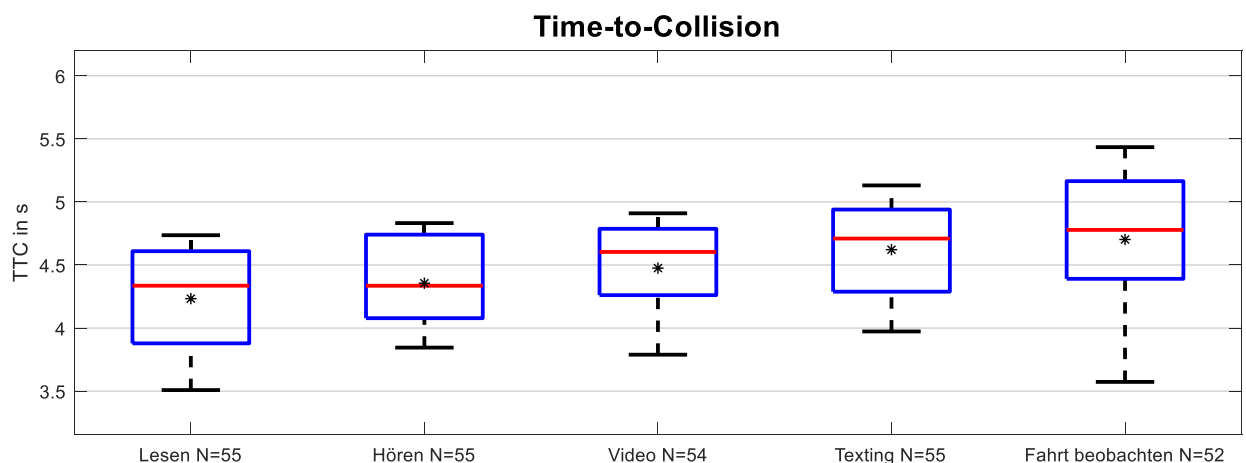


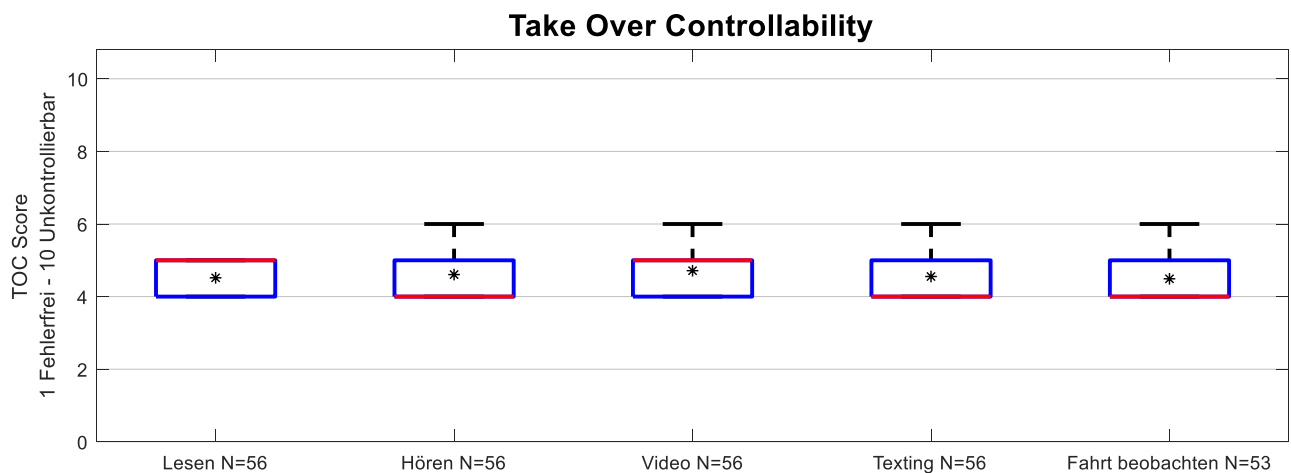
Abbildung 5-35: Boxplotdarstellung der Ergebnisse zu *TTC* in Abhängigkeit der untersuchten FFT in s

Tabelle 5-25: Übersicht der Ergebnisse *TTC* in s

FFT	MW	SD	Text lesen	Hörbuch hören	Video schauen	Texting
Text lesen	4,22	0,42		0,11	0,26 *	0,38 *
Hörbuch hören	4,33	0,34	-0,11		0,14	0,27 *
Video schauen	4,48	0,36	-,26 *	-0,14		0,12
Texting	4,60	0,40	-,38 *	-0,27 *	-0,12	
Fahrt beobachten	4,69	0,58	-,47 *	-0,36 *	-0,21	-0,08

* signifikanter Unterschied der Mittelwertdifferenz ($\alpha=0,05$; Bonferroni korrigiert)

Der **TOC-Score** kann Werte zwischen 1 (fehlerfrei) und 10 (unkontrollierbar) annehmen. Die Ergebnisse der subjektiven Rückübernahmebeurteilung sind in Abbildung 5-36 dargestellt. Eine Greenhouse-Geißer korrigierte Varianzanalyse zeigt dabei keine Unterschiede zwischen den untersuchten FFT [Greenhouse-Geisser $F(3,42, 178,16) = 1,73, p = 0,15, f = 0,03$]. Da auch die Werte aller FFT in einem ähnlichen Bereich zwischen 4,49 und 4,73 Punkten liegen, kann Hypothese $H_{3,2,2}$ (Δ TOC-Rating) widerlegt werden. Detaillierte Ergebnisse sind in Tabelle 5-26 zu finden.

Abbildung 5-36: Boxplotdarstellung der Ergebnisse *TOC* in Abhängigkeit der untersuchten FFT in PunktenTabelle 5-26: Übersicht der Ergebnisse *TOC* in Punkten

FFT	MW	SD	Text lesen	Hörbuch hören	Video schauen	Texting
Text lesen	4,50	0,50		0,09	0,22	0,05
Hörbuch hören	4,60	0,68	-0,09		0,13	-0,03
Video schauen	4,73	0,76	-0,22	-0,13		-0,16
Texting	4,56	0,72	-0,05	0,03	0,16	
Fahrt beobachten	4,49	0,69	0,01	0,11	0,24	0,07

* signifikanter Unterschied der Mittelwertdifferenz ($\alpha=0,05$; Bonferroni korrigiert)

Zusammenfassung der Ergebnisse zur Rückübernahmefähigkeit

An dieser Stelle wird die Rückübernahmefähigkeit auf Basis der gezeigten Ergebnisse resümiert. Diese zeigen, dass sich die Rückübernahmezeiten, ausgedrückt durch die Parameter *erster Blick auf die Straße* und *minimale Rückübernahmezeit* für die untersuchten FFT voneinander unterscheiden. Dabei konnte

festgestellt werden, dass vor allem die FFT *Text lesen* und *Texting* bei beiden Kennwerten zu höheren Reaktionszeiten bzw. Übernahmezeiten führen.

Die von Summala (2000) postulierte Annahme, dass sich die Zeitspanne zwischen *erster Blick auf die Straße* und *minimaler Übernahmezeit* je nach mentaler Beanspruchung unterscheidet, konnte bei den untersuchten FFT nicht nachgewiesen werden.

Bei der Übernahmequalität konnte ein Unterschied beim Bremsverhalten in Abhängigkeit der untersuchten FFT festgestellt werden. So wurden bei der FFT *Fahrt beobachten* weniger Vollbremsungen durchgeführt als bei den anderen FFT. Bei *Text lesen* und *Video schauen* wurden die meisten Vollbremsungen vollzogen. Das Gütekriterium Kollisionen konnte bei einem Zeitbudget von sechs Sekunden zwischen RÜA und der drohenden Kollision nicht herangezogen werden, da es bei keinem der Versuchsteilnehmer zu einer Kollision kam. Die *TTC* zeigt bei der FFT *Fahrt beobachten* einen hohen Wert, was für eine gute Rückübernahmequalität spricht. *Text lesen* führte hingegen bei diesem Kennwert zur schlechtesten Rückübernahmequalität. Bei dem *TOC*-Rating konnten in dieser Versuchsreihe keine Unterschiede in Abhängigkeit der untersuchten FFT festgestellt werden

5.2.4 Übergeordnete Zusammenhänge

Für die Überprüfung der Zusammenhangshypothesen $H_{4,1}$ und $H_{4,2}$ wurde ein Entscheidungsbaummodell erstellt, das den Zusammenhang zwischen den beiden Prädiktoren *mentale Beanspruchung* sowie *Situationsbewusstsein* und der zu erklärenden Variable *minimale Übernahmezeit* darstellt.

Im Gegensatz zu den bisherigen Hypothesen, die die Kennwerte in Abhängigkeit der FFT betrachteten, wird nachfolgend die resultierende mentale Beanspruchung und das vorhandene Situationsbewusstsein betrachtet.

Von den insgesamt acht untersuchten Beanspruchungskennwerten werden nachfolgend die Daten der leistungsbasierten Methode (Reiz-Reaktionszeittest) herangezogen, weil diese eine hohe Sensitivität aufzeigte (vgl. Kapitel 5.2.1).

Da sechs Datensätze aufgrund von Messtechnikausfällen nicht genutzt werden konnten, werden für die nachfolgende Betrachtung 274 von 280 Datensätzen (56 Probanden bei 5 FFT) miteinander verglichen. Durch eine multiple Regressionsanalyse konnte ein statistisch signifikanter Zusammenhang nachgewiesen werden. Die Prädiktoren mentale Beanspruchung und Situationsbewusstsein sagen statistisch signifikant das Kriterium Rückübernahmezeit voraus, $F(2, 273) = 31,88, p < 0,001$. Das Modell hat mit einem $R^2 = 0,147$ (korrigiertes $R^2 = 0,141$) eine mittlere Anpassungsgüte. Dabei wirkt sich ein hohes Situationsbewusstsein und eine geringe mentale Beanspruchung positiv auf eine kurze Rückübernahmezeit aus.

Um den Zusammenhang weiterführend zu analysieren, wurde mittels Maschine-Learning-Algorithmus (rPart, vgl. Kapitel 3.3) ein Entscheidungsbaummodell auf Basis von 80 % der Daten trainiert und grafisch in Abbildung 5-37 dargestellt.

Dabei führt eine hohe mentale Beanspruchung zu längeren Rückübernahmezeiten (rechter Pfad). Bei einer geringeren mentalen Beanspruchung und einem zeitgleich hohen Situationsbewusstseinswert können kurze Rückübernahmezeiten vorhergesagt werden (linker Pfad). Ist die mentale Beanspruchung und das Situationsbewusstsein gering ausgeprägt, führt dies zu einem erneuten Unterscheidungspunkt. Ab hier wiederholt sich der soeben geschilderte gerichtete Zusammenhang der mentalen Beanspruchung und dem Situationsbewusstsein mit strengeren Schwellenwerten.

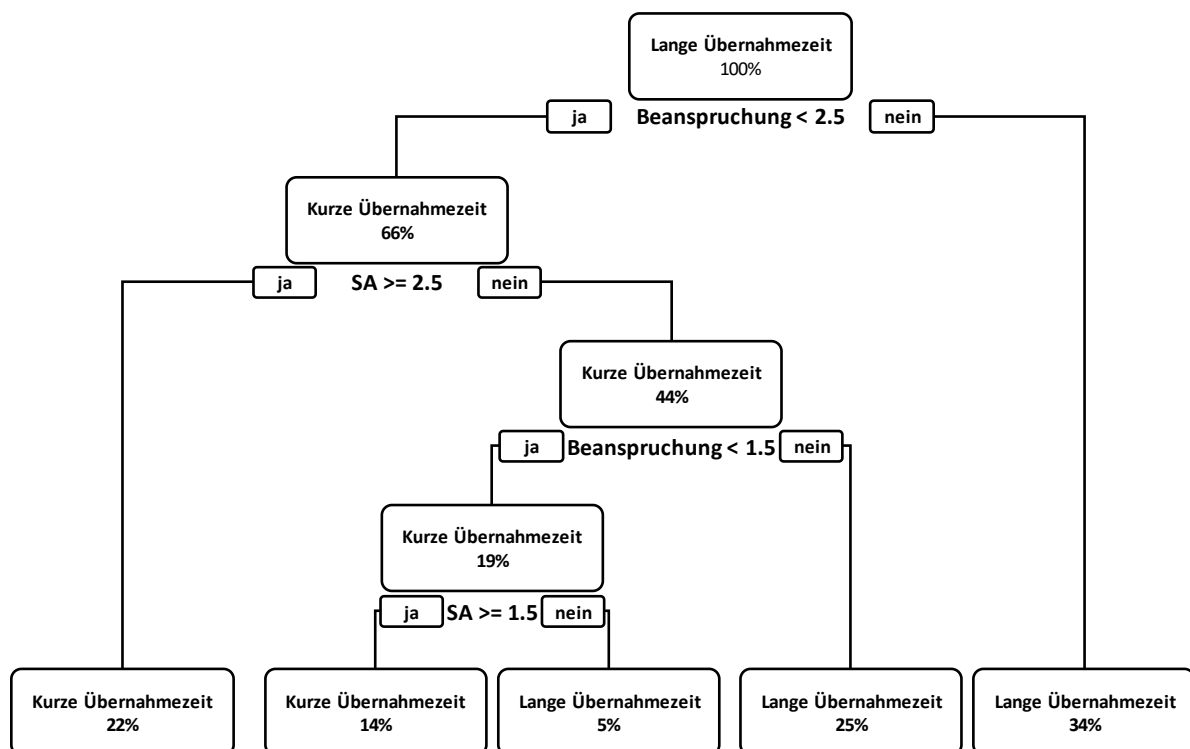


Abbildung 5-37: Entscheidungsbaum zur erklärenden Variable *Übernahmezeit* (kurz entspricht einer Rückübernahmezeit < 1,33 s, lang sind alle andere Fälle) mit den Prädiktoren *mentale Beanspruchung* (1 = gering, 2 = mittel, 3 = hoch) und *Situationsbewusstsein* (1 = gering, 2 = mittel, 3 = hoch).

Um die Güte des Modells zu bestimmen, wurde das trainierte Modell anhand der restlichen 20% des verbliebenen Datensatzes getestet. Dabei konnte eine Genauigkeit von 68% erzielt werden. Folglich ist es in 68% der Fälle möglich, eine richtige Vorhersage darüber zu treffen, ob es zu einer längeren oder kürzeren Übernahmezeit in Abhängigkeit der mentalen Beanspruchung und des Situationsbewusstseins kommt. Aus dem Regressionsmodell sowie dem Entscheidungsbaum geht hervor, dass beide aufgestellten Hypothesen $H_{4,1}$ und $H_{4,2}$ beibehalten werden können.

6 Diskussion

Die in Kapitel 4 und 5 vorgestellten Ergebnisse werden im folgenden Kapitel diskutiert. Die am Anfang dieser Arbeit formulierten Forschungsfragen (vgl. Kapitel 2.7) sollen somit mit Hilfe der Diskussion und der daraus resultierenden Behandlung der Leithypothesen beantwortet werden. Das Diskussionskapitel unterteilt sich in die *Diskussion zu Messmethodik und Messergebnissen* (Kapitel 6.1) und eine *allgemeine Diskussion zum Forschungsvorhaben* (Kapitel 6.2). Dieser Abschnitt schließt mit der Beantwortung der Forschungsfragen in Kapitel 6.3.

6.1 Diskussion zu Messmethodik und Messergebnissen

Es folgt eine kritische Diskussion über das vorliegende Forschungsvorhaben. Die Diskussion ist durch die Forschungsfragen gegliedert und unterteilt sich einerseits in die eingesetzten *Methoden* und andererseits in die eigentlichen *Messergebnisse*. Bei der Diskussion der Ergebnisse werden auch die Leithypothesen aus Kapitel 3.2 erneut aufgenommen und überprüft. Prinzipiell können bei der Überprüfung von Leithypothesen Widersprüche zwischen den Unterhypothesen auftreten. An dieser Stelle wird angemerkt, dass die Leithypothesen nur dann beibehalten werden, wenn alle Unterhypothesen die Leithypothese stützen. Wenn diese Bedingung nicht erfüllt ist, wird weiter untersucht, ob der Grund für die Ablehnung der Unterhypothese auf die Schwäche der Messmethodik zurückzuführen ist und somit die Leithypothese weiterhin beibehalten werden kann.

6.1.1 Identifikation relevanter FFT

Zur Identifikation von relevanten FFT wurden eine *Onlineumfrage* und eine *Cover-Story-Fahrsimulatorstudie* eingesetzt. Ziel beider Studien war die nutzerorientierte Identifikation von relevanten FFT im hochautomatisierten Fahrkontext. Beide methodische Ansätze bieten die Möglichkeit FFT für das hochautomatisierte Fahrzeug zu priorisieren, um anschließend eine begründete Auswahl an FFT in einer weiterführenden Studie im Detail zu untersuchen.

Identifikation relevanter FFT: Diskussion der Methodik

Bei der verwendeten Onlineumfrage wurden vorwiegend Tätigkeiten abgefragt, die auf Literaturangaben aus bisherigen Studien basieren und Tätigkeiten abdecken, die bereits heute bei manueller Fahrt durchgeführt werden. Um die Abfrage nicht zu lang und unübersichtlich zu gestalten, wurden insgesamt 21 Tätigkeiten ausgewählt (vgl. Tabelle 2-2). Diese Liste hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Zukünftige Trends, die auch die Tätigkeiten und Bedürfnisse von Fahrzeugnutzenden maßgeblich verändern könnten, kann diese Arbeit daher leider nicht abbilden.

Auch die Trennschärfe und der Detaillierungsgrad der abgefragten Tätigkeiten stellt eine Herausforderung dar, da beispielsweise die FFT *Kurznachrichten / E-Mails am Smartphone lesen* /

schreiben bereits aus mehreren Subtätigkeiten besteht und diese in Verbindung mit „im Internet oder sozialen Medien surfen“ gebracht werden kann.

Onlinebefragungen weisen den Vorteil auf, dass eine vergleichsweise große Probandenanzahl ($N = 164$) akquiriert werden kann. An dieser Stelle wird empfohlen, den Befragungszeitraum für größere Datensätze zu verlängern. Des Weiteren kann angemerkt werden, dass das angegebene und das tatsächliche Teilnehmergehalten nicht immer übereinstimmen muss, da sich die Versuchsteilnehmenden möglicherweise verstärkt sozial erwünscht verhalten und beispielsweise nur dieses entsprechende Verhalten angeben haben könnten (vgl. Moosbrugger, 2012). Ferner muss die angewandte Befragungsmethode an dieser Stelle hinterfragt werden. Das liegt daran, dass es für die Teilnehmenden schwierig ist, sich in solch ein Zukunftsszenario der hochautomatisierten Fahrt hineinzusetzen und ihr zukünftiges Verhalten zu beurteilen. Obwohl den Teilnehmern der Onlineumfrage ein Video (vgl. Anhang A) zu den Funktionsweisen eines hochautomatisierten Fahrzeugs gezeigt wurde, kann die fehlende praktische Erfahrung mit solchen Systemen zu Fehleinschätzungen führen.

Die Onlinebefragung fand in deutscher Sprache statt. Schoettle und Sivak (2014) zeigen, dass andere Länder andere Anforderungen an FFT sowie andere Erwartungen an hochautomatisierte Fahrzeuge stellen. Deshalb kann die geografische Beschränkung auf Deutschland als Limitierung der Ergebnisse betrachtet werden.

Die identifizierten Schwachstellen aus der Befragungsstudie sollten durch die Cover-Story-Fahrsimulatorstudie kompensiert werden. Der Fahrsimulator ist vorteilhaft, da er das direkte Hineinsetzen der Versuchsteilnehmenden in die zukünftige hochautomatisierte Verkehrssituation ermöglicht bzw. dieser am nächsten kommt. Im Vergleich zur eigenen Onlineumfrage oder zu Literaturangaben (vgl. Pfleging et al. (2016) oder Schoettle und Sivak (2014)) hatten die Versuchsteilnehmenden bei dieser Studie die Möglichkeit, die FFT tatsächlich in einer simulierten hochautomatisierten Umgebung zu erleben. Da von möglichen Verhaltensänderungen der Probanden ausgegangen werden kann, sobald sie den tatsächlichen Untersuchungshintergrund kennen, wurde wie von Hussy, Schreier und Echterhoff (2013) empfohlen die Cover-Story-Methodik angewandt. Mögliche Verhaltensänderungen gegenüber jenem Verhalten, das vermutlich in unbeobachteten Situationen gezeigt werden würde, was in diesem Kontext auch als *Reaktivitätsproblem* bezeichnet wird, wurden jedoch nicht gänzlich ausgeschlossen. Durch die Beobachtungssituation ist es wahrscheinlicher, dass einige FFT wie beispielsweise Telefonate oder die Verwendung von persönlichen Informationen oder Vorlieben aufgrund der eingeschränkten Privatsphäre möglicherweise weniger häufig durchgeführt wurden. Ein weiterer Kritikpunkt ist auch das vergleichsweise junge Probandenkollektiv aus dem universitären Umfeld, welches die Diversität der Stichprobe eingrenzt.

Der Einsatz beider Methoden konnte die Nachteile der zwei einzelnen Messansätze kompensieren. So bietet die Onlineumfrage einerseits die Möglichkeit viele Personen zu erreichen. Um andererseits jedoch aussagekräftigere Ergebnisse zu erhalten, wurde ein kleinerer Probandenkreis in einem Fahrsimulator mit hoher Immersionsgüte sowie dem Einsatz von FFT, die in der Online-Umfrage besonders stark präferiert wurden, getestet. Aufgrund des Untersuchungskonzepts wurde kein Beifahrer in die Untersuchungsumgebung mit aufgenommen. Dieser Aspekt konnte daher nicht untersucht werden.

Identifikation relevanter FFT: Diskussion der Ergebnisse

Bei beiden Studien konnte ein breites Spektrum an FFT identifiziert werden, das über die bereits üblichen FFT bei manueller Autofahrt hinausgeht. Diejenigen FFT, die bereits bei manueller Fahrt ausgeführt werden, lassen sich künftig auch während hochautomatisierter Fahrt durchführen. Ein signifikanter Rückgang der Nutzungshäufigkeit von manueller zu hochautomatisierter Fahrt konnte bei keiner FFT festgestellt werden (vgl. Abbildung 4-3 und Abbildung 4-4). *Musik hören* wird bei der eigenen Onlineumfrage und auch in Pfleging et al. (2016) als die FFT angesehen, die mit Abstand am beliebtesten ist. Jedoch wurde diese Tätigkeit bei der Cover-Story-Fahrsimulatorstudie nur 9 von 30 Personen während der 25-minütigen Fahrt durchgeführt. Andere Tätigkeiten wie *über etwas nachdenken*, *aus dem Fenster schauen ohne Bezug zur Fahrt*, *Kurznachrichten am Smartphone lesen / schreiben* wurden hingegen bei beiden eigenen Studien und auch bei der Studie von Pfleging et al. (2016) ähnlich häufig ausgeführt. Resümierend kann auf Basis der Ergebnisse festgehalten werden, dass ein signifikanter FFT-Nutzungsanstieg bei höheren Automatisierungsgraden zu erwarten ist. Vor allem bei FFT mit einem hohen visuellen Anteil konnte ein deutlicher Anstieg des potenziellen Nutzungsverhaltens nachgewiesen werden. Das *Musikhören* wurde in der Online-Umfrage sowohl für das manuelle als auch für das hochautomatisierte Fahren als die am häufigsten durchgeführte FFT eingestuft. Des Weiteren ist das Bedürfnis nach Kommunikation ein relevanter Aspekt und beinhaltet FFT wie das *Texting* und *soziale Medien*. Generell konnte festgestellt werden, dass häufig mobile Geräte wie Smartphones und Tablets während hochautomatisierter Fahrt genutzt werden oder dies zumindest so in der Onlineumfrage angegeben wurde. Aus den Erkenntnissen der einzelnen FFT lässt sich weiter abstrahieren, dass die Nutzungsrelevanz durch Bedürfnisse wie Spaß, Produktivität und Kommunikation geprägt wird. Aufgrund der Tatsache, dass Personen bei der Cover-Story-Studie auch weiterhin häufig aus dem Fenster schauen, kann daraus geschlossen werden, dass weiterhin die Faktoren Vertrauen und Sicherheit eine große Rolle bei der hochautomatisierten Fahrt spielen.

6.1.2 Mentale Beanspruchung

Für die Erhebung der mentalen Beanspruchung wurde der trimodale Ansatz von subjektiven, psychophysiologischen und leistungsbasierten Messmethoden herangezogen. Die verwendeten Methoden werden nachfolgend diskutiert und die Ergebnisse abschließend nochmals erörtert.

Mentale Beanspruchung: Diskussion der Methodik

Bei allen Beanspruchungskennwerten wurde am Anfang des Versuchs eine Referenzmessung durchgeführt, um Vergleichbarkeit herzustellen. Diese wurde während der pausierten Simulation im Fahrzeug erhoben. Da diese Referenzmessung am Anfang der Versuche stattfand, könnten die Versuchsteilnehmenden aufgrund der ihnen unbekannten Situation eine *anfängliche* Aufregung verspürt haben. Dadurch können Verzerrungen beim subjektiven Empfinden und bei den psychophysiologischen Daten vorliegen.

Subjektive Beanspruchungskennwerte

Die empfundene Beanspruchung wurde mittels NASA-TLX-Fragebogen (Langversion) erfasst. Da bisher noch keine Angaben über die bloße Ausführung von naturalistischen FFT während hochautomatisierter Fahrt vorlagen, können diese Ergebnisse als erste Datengrundlage für weitere Forschungszwecke herangezogen werden. In der Langversion wurde für jede FFT eine Gewichtung der einzelnen sechs Dimensionen mittels Paarvergleich durchgeführt. Ein signifikanter Unterschied zwischen dem gewichteten (Langversion) und ungewichteten Gesamtscore (Kurzversion) konnte bei der Untersuchung nicht festgestellt werden. Jedoch unterscheidet sich der Einfluss der einzelnen Dimensionen merklich in Abhängigkeit der FFT in Bezug auf den Gesamtscore. Der Einfluss der Einzeldimensionen sollte daher auch in Zukunft weiter Beachtung finden.

So zeigte sich beim *Texting* in der Dimension *körperliche Anforderungen* ein vergleichsweise hoher Wert, der jedoch durch einen vergleichsweise geringeren *Frustrationswert* im Gesamtscore kompensiert wird (vgl. Anhang H).

Die subjektive Messmethode spiegelt die von den Probanden empfundene, persönliche Beanspruchung wider. Vorteile der Methode liegen in der einfachen Handhabung und den geringen Kosten. Als kritisch muss der Zeitpunkt der Befragung angemerkt werden, da dieser nicht kontinuierlich während der Ausführung der FFT, sondern erst im Anschluss an die Situationsbewusstseinsmessung abgefragt wurde. Des Weiteren kann es – trotz der Dimensionsbeschreibung im Fragebogen – zu Interpretationsfehlern und oder Ausfüllfehlern beim Beantworten des Fragebogens und damit zu einer Fehleinschätzung der Probanden gekommen sein.

Psychophysiologische Beanspruchungskennwerte

Die psychophysiologische Datenerhebung zur mentalen Beanspruchungsmessung erwies sich je nach eingesetztem Messsystem als fehleranfällig oder aufgrund der hohen Varianz als wenig reliabel. Eine eindeutige Unterscheidung, welche FFT beanspruchender sind, kann an dieser Stelle mit den verwendeten Messmethoden nicht zufriedenstellend beurteilt werden.

Das eingesetzte Messsystem für die Bestimmung der **okularen Aktivität** führte aufgrund von Hardware- und Softwareproblemen zu einem deutlichen Mehraufwand bei der Versuchsvorbereitung und auch der

Versuchsdurchführung. Abhilfe schaffte ein Austauschgerät, welches ab Versuchsperson 47 zu kontinuierlichen Messaufnahmen verhalf. Darüber hinaus wurde versucht, neben der verwendeten Lidschlussrate, auch die Lidschlussdauer zu messen. Jedoch führte die zu geringe Datenaufzeichnungsrage zu keinen plausiblen Ergebnissen, sodass der Messwert für die Versuchsreihe verworfen wurde. Nach dem Abtasttheorem muss die Aufzeichnungsfrequenz mindestens doppelt so groß wie die höchste Frequenzkomponente sein, damit diese korrekt dargestellt werden kann. Eine Abtastrate über 60 Hz wird daher empfohlen.

Die gemessene Pupillenfläche wurde ebenfalls als Variable verworfen, da es je nach ausgeführter FFT zu unterschiedlichen Beleuchtungshelligkeiten im Fahrzeug kam. Bei der FFT *Text lesen* führte beispielsweise die vergleichsweise helle Hintergrundbeleuchtung des Tablets zu einer signifikant geringeren Pupillenfläche im Vergleich zur FFT *Fahrt beobachten*.

Einzig der Kennwert Lidschlussrate führte nach einer Plausibilitätsüberprüfung zu reliablen Versuchsdaten. Jedoch konnte mit dem verwendeten Blickbewegungsanalysesystem keine Unterscheidung zwischen den verschiedenen Formen des Lidschlags erfolgen. Die Literatur dagegen zeigt, dass insbesondere der unwillkürliche Lidschlag ein Kennwert für die mentale Beanspruchungsmessung ist (Beatty, 1982). Des Weiteren kann das Messsystem mit der verwendeten Auswertungsmethode (vgl. Kapitel 5.1.7) nur den Lidschluss erfassen, sodass die beiden zusätzlichen Phasen des Lidschlags (das Schließen und Öffnen des Lids) nicht gemessen werden konnten.

Die automatisierte Blickbewegungserkennung erfolgte über die im Fahrzeug und in der Simulationsumgebung platzierten QR-Codes (vgl. Abbildung 4-5 und Abbildung 5-13). Um eine gute Erkennungsrate der QR-Codes durch das Messsystem zu garantieren, wurden diese ausreichend groß dimensioniert, was von den Probanden als nicht störend empfunden wurde. Das Messsystem konnte jedoch nur Daten vom linken Auge zuverlässig aufzeichnen, was möglicherweise durch die infrarote Beleuchtung der Beobachtungskamera, welche von rechts auf die Versuchsperson strahlte (vgl. Abbildung 4-5), erklärt werden kann.

Während der eigentlichen Untersuchung der FFT wurde bei der Messung der **kardiovaskulären Aktivität** darauf geachtet, dass die körperliche Beanspruchung so gering wie möglich ist. Wie sich durch die EKG-Messung zeigte, war die Tätigkeit *Texting* im Vergleich zu den anderen FFT die beanspruchendste. Da durch das Schreiben auch der motorische Anteil des Hand-Arm-Systems involviert war, kann die Überlegung angestellt werden, dass dies in der Konsequenz zu einer erhöhten Herzschlagrate geführt haben könnte.

Eine eindeutige Unterscheidung zwischen körperlicher, mentaler oder emotionaler Beanspruchung ist bei der Auswertung der Kennwerte des Elektrokardiogramms nicht möglich, sodass Einflüsse der physischen und emotionalen Anstrengung auf die mentale Beanspruchung nicht ausgeschlossen werden können. Die nicht eindeutige Trennung der mentalen Beanspruchung von der physischen sowie der

emotionalen Beanspruchung, kann nicht nur einen negativen Einfluss auf die Sensitivität, sondern auch auf die Reliabilität und Diagnostizität des Kennwertes Herzschlagrate gehabt haben. Das Messsystem als solches erwies sich jedoch über die Versuche hinweg als nicht störanfällig, sodass alle Daten verwendet werden konnten.

Die **elektrodermale Aktivität** in Form des Hautleitwertes ist ähnlich wie auch die anderen psychophysiologischen Kenngrößen von vielen äußeren Einflüssen abhängig. Die Anbringung der Elektroden am linken Fuß der Probanden erwies sich als praktikabel, weil Elektroden selbst bei der Rückübernahmeaufforderung nicht als störend empfunden wurden und es auch hier zu keinem Messausfall kam.

Da die Versuche im Frühjahr stattfanden und sich das Labor im Keller des Gebäudes befand, konnte für ein behagliches Klima und für ein annähernd gleiches Temperaturniveau gesorgt werden, wodurch die Temperaturabhängigkeit des Hautleitwertes kontrolliert wurde (vgl. Boucsein, 2012). Ferner wurden die Elektroden für alle Probanden im gleichen Abstand zueinander aufgeklebt, sodass auch hier die Störeinflüsse als minimal eingeschätzt werden können.

Leistungsbasierte Beanspruchungskennwerte

Wenn nicht genügend Ressourcen als *Treibstoff* vorhanden sind, sinkt die Leistung (vgl. Kapitel 2.1.3). Dieser Effekt konnte mit dem Reiz-Reaktionszeittest nach DIN ISO 17488 (2016) ebenfalls nachgewiesen werden. Die Probanden waren schnell dazu in der Lage die Funktionsweise des Tests zu verstehen und umzusetzen. Somit kann der Reiz-Reaktionszeittest als fertigkeitsbasierte Handlung angesehen werden, vgl. Rasmussen (1983). Nach Stojmenova und Sodnik (2018) konnte durch den Einsatz des Reiz-Reaktionszeittests keine Zusatzbeanspruchung in den psychophysiologischen Messdaten festgestellt werden. Diese Tatsache beruht nach eigener Einschätzung darauf, dass die von den Autoren gewählte Messmethode eine zu geringe Sensitivität aufweist. In dieser Arbeit wurde hingegen bei der Leistungserfüllung der Primäraufgabe (FFT) ein signifikanter Abfall festgestellt, obwohl die Studienteilnehmenden die Versuchsanweisung bekamen, ihre Aufgabenpriorisierung auf die FFT zu lenken (vgl. Abbildung 5-25). Damit eine Aussage über die mentale Beanspruchung durch den Leistungsindex Sekundäraufgabe erhoben werden kann, sollte nach dem *Subsidiary-Task-Paradigm* der Leistungsabfall nur bei der Sekundäraufgabe erfolgen. Die festgestellten Leistungseinbußen der Primäraufgabe können auch mit den von Monsell (2003) erwähnten Wechselkosten bei Mehrfachaufgaben erklärt werden. Daher wird für zukünftige Beanspruchungsuntersuchungen außerdem empfohlen, den Reiz-Reaktionszeittest als eigenen Messabschnitt zu untersuchen und diesen nicht zeitgleich mit den psychophysiologischen Messungen zu erheben.

Ferner war es das Ziel dieser Arbeit die Multiple-Ressourcen-Theorie von Wickens (1984) im Kontext der FFT während hochautomatisierter Fahrt zu beweisen (vgl. Abbildung 2-5). Diese besagt, dass die

Verarbeitungsinterferenz von zwei parallel ausgeführten Aufgaben bei gleicher Ressourcennutzung steigt. Das bedeutet, dass visuelle FFT wie beispielsweise *Text lesen* die gleichen Wahrnehmungsressourcen wie der visuelle Reiz-Reaktionszeittest zur Informationsaufnahme nutzen und dies dementsprechend in einer höheren visuellen Interferenz resultieren müsste. Dafür wurde der Reiz-Reaktionszeittest mit unterschiedlichen Stimuli ausgestattet, welche jeweils verschiedene Wahrnehmungsmodalitäten ansprechen sollten (vgl. Kapitel 2.1.1). Eine längere Reaktionszeit bei gleichzeitiger Belastung eines Wahrnehmungskanals konnte bei den untersuchten FFT nicht festgestellt werden (vgl. Abbildung 5-25). Belegbare Rückschlüsse auf modalitätsspezifische Wahrnehmungsressourcen können daher nicht gezogen werden, woraus sich eine geringe Diagnostizität dieser Messmethode ergibt. Daher wird angenommen, dass die vom Reiz-Reaktionszeittest gemessenen Unterschiede tatsächlich nur die mentale Beanspruchung als Gesamtkonstrukt diagnostizierten und nicht die einzelnen Abschnitte *Perzeption*, *Kognition* und *Handlung* getrennt voneinander untersucht wurden. Der Reiz-Reaktionszeittest erwies sich als sehr sensitives Messwerkzeug, da er sehr gut dazu in der Lage ist, Unterschiede zu erkennen. So zeigten sich bereits signifikante Änderungen der Reaktionszeiten in der Sekundäraufgabe bei hochautomatisierter Fahrt im Vergleich zur Referenzmessung. Ferner wurden mit dem Reiz-Reaktionszeittest deutliche Messunterschiede und geringe Varianzen in Abhängigkeit der FFT im Vergleich zu den psychophysiologischen Messsystemen festgestellt.

Die Antwortrate des Reiz-Reaktionszeittests hingegen sollte in nachfolgenden Untersuchungen bezüglich FFT während hochautomatisierter Fahrt nicht weiterverfolgt werden, da hier kaum nennenswerte Unterschiede festgestellt werden konnten.

Nach der DIN ISO 17488 (2016) sollte der Antworttaster am Finger des Probanden befestigt werden. Da dies jedoch bereits nach der vierten Versuchsperson zu einem Kabelbruch führte, wurde der Antworttaster an der linken Türverkleidung an einem ergonomisch optimierten Griffbereich angebracht, woraus keine Einschränkungen resultierten.

Ein weiterer Punkt ist die Dauer der ausgeführten Sekundäraufgabe. In der Literatur konnten nur zwei Experimente mit Zeitangaben gefunden werden. Nach Conti-Kufner (2017) wird der Reiz-Reaktionszeittest für 1 Minute bzw. 2 Minuten ausgeführt. Um genügend Datenpunkte zu erhalten, sendete der Reiz-Reaktionszeittest in dieser Arbeit etwa 30-35 Reize (2 Minuten) pro Modalität und FFT aus. Auf Grund der Varianzreduzierung wird diese Anzahl auch für zukünftige Untersuchungen empfohlen, wenn der mentale Beanspruchungszustand beurteilt werden soll.

Mentale Beanspruchung: Diskussion der Ergebnisse

Mit dieser Arbeit konnte bewiesen werden, dass sich die menschliche Beanspruchung in Abhängigkeit der betrachteten FFT während hochautomatisierter Fahrt unterscheidet.

Wie schon in der Literatur angegeben, sollte die mentale Beanspruchung für eine bessere Validität der Ergebnisse mit mehreren Messmethoden analysiert werden (DeWaard, 1996; O'Donnell & Eggemeier,

1986; Schwalm, 2009). In dieser Arbeit wurden das subjektive Empfinden, verschiedene psychophysiologische sowie leistungsbasierte Messmethoden eingesetzt.

Das subjektive Beanspruchungsempfinden unterscheidet sich für jede untersuchte FFT signifikant von der Referenzmessung, die beim Fahrzeugstillstand ohne FFT erhoben wurde. Insbesondere konnte festgestellt werden, dass das Lesen als die beanspruchendste FFT empfunden wurde. Jedoch zeigte sich bei allen untersuchten FFT eine hohe Varianz, sodass eine trennscharfe Unterscheidung nicht möglich ist. Auch stellte sich bei der Einzeldimensionsbetrachtung heraus, dass gerade *Texting* den Versuchsteilnehmern viel Spaß bereitete, da sie einen geringeren Frustrationswert angaben, wodurch das vergleichsweise subjektiv gering empfundene Beanspruchungsgefühl erklärt werden kann.

Die Lidschlussrate korreliert negativ mit der in Kapitel 5.1.1 genannten Literatur zur mentalen Beanspruchung. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit verdeutlichen, dass *Texting*, gefolgt von *Text lesen*, die niedrigsten Mittelwerte und somit die größte mentale Beanspruchung aufweist. Alle anderen FFT unterscheiden sich nicht signifikant von der Referenzmessung.

Psychophysiologische Kennwerte weisen untereinander eine hohe Varianz auf und können zusätzlich empfindlich auf emotionale und körperliche Belastung reagieren. Die kardiovaskuläre Aktivität in Form der Herzschlagrate und der HRV wurde in verschiedenen Literaturquellen als mentaler Beanspruchungsindikator identifiziert (vgl. Kapitel 5.1.1). Demnach ist die Herzschlagrate ein guter Indikator für die Gesamtbeanspruchung, während die HRV die mentale Beanspruchung widerspiegelt. Die Herzschlagrate weist hier eine positive Korrelation mit der mentalen Beanspruchung auf, weshalb bei erhöhten Herzschlagraten ein Anstieg der mentalen Beanspruchung zu erwarten ist. Auch in dieser Versuchsreihe konnten signifikante Unterschiede bei den FFT festgestellt werden. Das *Texting* weist trotz hoher Varianz der gemessenen Werte eine signifikant höhere Beanspruchung auf. Für die Ergebnisse der HRV und EDA können bedeutungsgleiche Aussagen getroffen werden.

Die FFT *Lesen* und *Texting* führen jedoch über alle Messmethoden hinweg eindeutig zu den höchsten Beanspruchungswerten.

Die Ergebnisse der leistungsbasierten Beanspruchungsmessung zeigen ähnliche Ergebnisse wie die der psychophysiologischen Messungen. Hier ist die FFT *Texting* ebenfalls als beanspruchendste Tätigkeit zu nennen. Auch *Text lesen* erweist sich als beanspruchender als die anderen untersuchten FFT. Im Vergleich dazu wurden große Unterschiede beim Selbstbeurteilungsinstrument NASA-TLX festgestellt, da das *Texting* als wenig mental beanspruchend empfunden wurde. Diese Erkenntnis ist von besonderem Interesse, da in Literaturangaben die Beanspruchung häufig nur durch den NASA-TLX abgebildet wird. Dies führt somit zu möglichen Verfälschungen, da Tätigkeiten, die an und für sich eine hohe Anzahl an Ressourcen beanspruchen, beispielsweise durch die Freude an der Nutzung (ausgedrückt durch ein geringes Frustrationsmaß), als vergleichsweise weniger beanspruchend empfunden werden.

Auf Grundlage der hier genannten Punkte und der beibehaltenen Hypothesen in Kapitel 5.2.1 wird die LH1 beibehalten:

LH1: Es gibt einen signifikanten Unterschied in der mentalen Beanspruchung der Probanden bei der Ausführung von verschiedenen naturalistischen FFT während hochautomatisierter Fahrt.

6.1.3 Situationsbewusstsein

Das Situationsbewusstsein beinhaltet die Aspekte der Wahrnehmung, des Verständnisses und der Antizipation der Umgebung als drei aufeinander aufbauende Ebenen. Da der Fahrzeugnutzende bei der hochautomatisierten Fahrzeugführung noch als Rückfallebene dient, muss dieser stets in der Lage sein, so schnell und adäquat wie möglich in Abhängigkeit der aktuellen Umgebungssituation in die Fahrzeugsteuerung einzugreifen. Aus diesem Grund wurde der Einfluss der hochautomatisierten Fahrt auf das Situationsbewusstsein durch einen Vergleich verschiedener FFT ohne sowie mit Vorwarnzeiten untersucht.

Situationsbewusstsein: Diskussion der Methodik

Die zugrundeliegende Frage war, ob ein Situationsbewusstsein trotz FFT bei einer hochautomatisierten Fahrt aufgebaut werden kann. Um dieser Fragestellung nachgehen zu können, wurde ein Versuchskonzept mittels SAGAT-Messmethode und einer anschließenden Befragung auf Basis von Literaturangaben (vgl. Kapitel 5.1.1) entwickelt.

Bei der eingesetzten SAGAT-Methode handelt es sich um eine validierte und häufig verwendete Situationsbewusstseinsmessmethode (vgl. Endsley, 2000a). Diese ermöglicht eine verzerrungsfreie Bewertung der Situation durch den Probanden ohne eine Beeinflussung der Primäraufgabe. Zur Messung des Situationsbewusstseins wurden alle drei Ebenen in den Fragebogen mit integriert. Jedoch wurden Fragen zur *Wahrnehmungsebene*, im Vergleich zu *Verständnis-* und *Antizipationsfragen* überproportional häufig gestellt. Dennoch wird die Vergleichbarkeit in dieser Versuchsreihe als gegeben betrachtet, da jede Situationsbewusstseinsmesskreuzung ähnlich komplex aufgebaut war und inhaltlich die gleichen Fragen gestellt wurden (vgl. Anhang G).

Bisherige Untersuchungen nutzten SAGAT, um das aktuelle Situationsbewusstsein ohne Vorwarnzeit zu messen (Barbé & Stephane, 2009; Bolstad, 2001; Loft et al., 2015; Rauch et al., 2008). In dieser Versuchsreihe wurden neben der klassischen SAGAT-Untersuchung, bei welcher die Simulation plötzlich stoppt und ausgeblendet wird, auch SAGAT-Messungen durchgeführt, bei welchen das Überraschungsmoment durch ein informierendes Signal mit 2 oder 8 Sekunden Vorwarnzeit vorweggenommen wird. Erfahrungen zu SAGAT-Messungen mit Vorwarnzeit konnten der Literatur nicht entnommen werden.

Weiter schließt sich die Frage eines möglichen Lerneffekts an, da jede Versuchsperson 15 verschiedene SAGAT-Messungen erlebte. Dabei konnte nach einiger Zeit in den Blickbewegungsdaten ein systematisches Absuchen von häufig abgefragten Objekten erkannt werden. Da sich jede Kreuzungssituation von der Verkehrsteilnehmerzahl und Anordnung unterschied, wurde eine inhaltliche Antizipation der Ergebnisse ausgeschlossen. Dies konnte bestätigt werden, da kein Reihenfolgeeffekt in Abhängigkeit der erlebten Situationsbewusstseinsmessungen zu erkennen war (vgl. Anhang H).

Die von Endsley (2000a) vorgeschlagene maximale Unterbrechungszeit von 6 Minuten wurde in dieser Studie mit der Abfrage von zehn Fragen nicht überschritten. Ferner entspricht die Untersuchung von Kreuzungsszenarien einer realitätsnahen Umgebung für mögliche Übernahme-situationen während hochautomatisierter Fahrt und sollte auch weiterhin für zukünftige Studien herangezogen werden, da hier eine Vielzahl an Fragen bezüglich des Situationsbewusstseins gestellt werden kann.

Situationsbewusstsein: Diskussion der Ergebnisse

Anhand der Versuchsreihe konnten signifikante Unterschiede bei dem Situationsbewusstsein in Abhängigkeit der ausgeführten FFT bestätigt werden. Die Hypothese, dass sich das Situationsbewusstsein ohne Vorwarnzeit unterscheidet, konnte angenommen werden, da FFT mit Blickabwendung zu schlechteren Situationsbewusstseinsergebnissen führten. Jedoch wurden auch bei den Tätigkeiten *Hörbuch hören* und die *Fahrt beobachten* signifikante Unterschiede festgestellt. So zeigte sich ein signifikant schlechteres Situationsbewusstsein bei der auditiven Wahrnehmung einer akustischen FFT im Vergleich zur reinen hochautomatisierten Fahrt, was darauf schließen lässt, dass bereits akustische FFT Fahrzeugnutzende messbar ablenken werden. Aus diesen genannten Gründen sowie den Einzelhypothesen wird folgende Leithypothese beibehalten:

LH2.1 Das Situationsbewusstsein ohne Vorwarnzeit weist in Abhängigkeit der ausgeführten FFT während hochautomatisierter Fahrt signifikante Unterschiede auf.

Darüber hinaus ist eine positive signifikante Steigerung des Situationsbewusstseins durch eine Vorwarnzeit während hochautomatisierter Fahrzeugführung festzustellen. Der Anstieg des SAGAT-Score nach einer kurzen Vorwarnzeit (2 s) in Relation zum SAGAT-Score ohne Vorwarnzeit beträgt gemittelt über alle FFT 21 % bzw. bei einer langen Vorwarnzeit (8 s) 24 %. Erstaunlicherweise konnte kein signifikanter Unterschied zwischen einer kurzen und einer langen Vorwarnzeit ermittelt werden. Da nicht alle Unterhypothesen beibehalten werden konnten, muss die zweite LH zum Situationsbewusstsein daher abgelehnt werden:

LH2.2: Das vorhandene Situationsbewusstsein wächst mit zunehmender Vorwarnzeit signifikant an.

Die Erkenntnisse aus dieser Arbeit unterscheiden sich von jenen aus dem Experiment von Lu et al. (2017). In diesem wurde ebenfalls untersucht, wie lange eine Person benötigt, um ein Situationsbewusstsein bei automatisierter Fahrt aufzubauen. Bei der Studie wurden ohne die simultane Ausführung von FFT animierte Videos mit unterschiedlichen Längen (1 bis 20 Sekunden) gezeigt, bevor der Bildschirm geschwärzt wurde. Dabei stellte sich heraus, dass sich das Situationsbewusstsein ab 7 Sekunden Vorwarnzeit nicht weiter signifikant verbessert.

Signifikante Unterschiede der Situationsbewusstseinsergebnisse in Abhängigkeit der untersuchten FFT, wenn auch nur mit einer geringen Effektstärke, konnten entgegen der Erwartungen sowohl nach einer kurzen als auch nach einer langen Vorwarnzeit bei den untersuchten FFT festgestellt werden.

Diese Ergebnisse stehen entgegen der Annahme, dass sich ab einer entsprechend langen Vorwarnzeit, das Situationsbewusstseinsniveau über alle FFT angleicht, weil vermutet wurde, dass die Personen ausreichend Zeit für den Aufgabenwechsel von FFT zur Beobachtung des Straßenverkehrs haben. Da es jedoch signifikante Unterschiede gibt, kann daraus abgeleitet werden, dass sich FFT auch in ihrer Unterbrechbarkeit unterscheiden müssen. Aus den signifikant schlechteren Situationsbewusstseinsergebnissen bei der Messung mit langer Vorwarnzeit (vgl. Abbildung 5-28) bei den FFT *Lesen* und *Video schauen* im Vergleich zu den anderen FFT wird geschlussfolgert, dass diese ein noch längeres Zeitfenster als 8 Sekunden benötigen, um ein vergleichbares Situationsbewusstseinsniveau zu erreichen. Aus diesem Grund wird die dritte Leithypothese zum Konstrukt Situationsbewusstsein abgelehnt:

LH2.3: Unter Einbeziehung einer Vorwarnzeit gibt es keine signifikanten Unterschiede bei dem aufgebauten Situationsbewusstsein in Abhängigkeit der ausgeführten FFT während hochautomatisierter Fahrt.

Einen Zusammenhang zwischen den Situationsbewusstseinsergebnissen und der mentalen Beanspruchung (vgl. Taylor (1990)) konnte in dieser Studie durch statistische Korrelationsprüfung nicht nachgewiesen werden.

6.1.4 Rückübernahmefähigkeit

Eine essenzielle Fragestellung bei der Untersuchung von hochautomatisierten Fahrsystemen ist, ob der Fahrzeugnutzende im Falle einer Übernahmeaufforderung die Fahrzeugführung schnell und adäquat rückübernehmen kann. Dies hängt von vielen verschiedenen Einflussfaktoren ab (vgl. Kapitel 2.2.2).

Rückübernahmefähigkeit: Diskussion der Methodik

Ein Einflussfaktor ist unter anderem die Gestaltung der RÜA. An dieser Stelle wird darauf verwiesen, dass im Vorfeld zu dieser Studie mehrere RÜA-Variationen literaturbasiert konzipiert und die empirisch

am besten bewertete Gestaltungslösung als Standard für diese Untersuchung herangezogen wurde (vgl. Müller et al., 2018).

Durch eine Trainingsfahrt vor der eigentlichen Versuchsreihe wurden die Probanden bereits mit einer RÜA konfrontiert, sodass die Versuchsteilnehmenden ein ausreichendes Systemverständnis aufbauen konnten. Eine Besonderheit dieser Untersuchung ist die Betrachtung eines Stadtszenarios. Die RÜA erfolgte auf gerader Strecke, um zu messende Lenkwinkeländerungen, die vom Probanden initiiert wurden, im Vergleich zum Solllenkwinkel des automatisierten Systems zu unterscheiden. Dieser Versuchsaufbau sollte aufgrund seiner Messbarkeit in zukünftigen Untersuchungen übernommen werden. Weiterhin ist darauf zu achten, dass die Strecken untereinander bei der RÜA für eine bessere Vergleichbarkeit, sehr ähnlich aufgebaut sein sollten. Die Hindernisse sollten sich jedoch unterscheiden, damit eine RÜA nicht antizipiert werden kann.

Da viele verschiedene Gestaltungsfaktoren einer Rückübernahmesituation in der Literatur zu finden sind, wird zukünftig ein *standardisiertes* Szenario gefordert, um die Vergleichbarkeit weiter zu erhöhen.

An dieser Stelle muss angemerkt und weiter diskutiert werden, dass die automatisierte Fahrzeugführung zeitgleich mit dem Start der RÜA deaktiviert wurde. Dieses Messszenario wurde verwendet, um die Rückübernahmefähigkeit der Probanden zu ermitteln. Zukünftig sollten Fahrzeuge zur Risikovermeidung die RÜA bereits frühzeitig und während aktiver hochautomatisierter Fahrt ausgeben oder ein Manöver zur Gefährdungsreduktion einleiten, was jedoch nach SAE-Klassifikation L4 entspricht. Ein Zeitbudget von sechs Sekunden sorgte dafür, dass es zu keiner Kollision mit dem Hindernis kam und sollte in Zukunft um zwei auf vier Sekunden verkürzt werden, damit aussagekräftigere Ergebnisse zur Rückübernahmequalität erzielt werden können.

Insgesamt haben die Versuchsteilnehmer während der gesamten Untersuchung sechs RÜA (jeweils pro untersuchter FFT und eine während der Trainingsfahrt) erlebt. Es konnten keine Lerneffekte in Abhängigkeit der erlebten RÜA-Anzahl festgestellt werden (vgl. Anhang H).

Rückübernahmefähigkeit: Diskussion der Ergebnisse

Als objektive Rückübernahmezeiten wurden einerseits die Zeit zwischen RÜA und *erster Blick auf die Straße* und andererseits die *minimale Rückübernahmezeit* herangezogen. Zur Beurteilung der Güte einer Rückübernahme wurde das *Übernahmeverhaltensweisen* in Form von Ausweich- oder Bremsverhalten, der *Kollisionsanzahl*, der *TTC* und dem subjektiven *TOC-Rating* betrachtet.

Es konnten signifikante Unterschiede bei beiden Kennwerten zur Reaktionszeit (erster Blick auf die Straße und minimale Rückübernahmezeit) in Abhängigkeit von der ausgeführten FFT festgestellt werden. Aus den genannten Gründen ergibt sich die erste Leithypothese zur Rückübernahmefähigkeit:

LH3.1: Es gibt einen signifikanten Unterschied in der Rückübernahmezeit von automatisierter zu manueller Fahrt in Abhängigkeit unterschiedlicher ausgeführter FFT.

Die Mittelwerte der minimalen Rückübernahmezeit liegen bei dieser Arbeit zwischen 1,10 s (*Hörbuch hören*) und 1,64 s (*Text lesen*) und sind somit im Vergleich zu den Literaturangaben (vgl. Kapitel 2.2.2) in einem kürzeren Bereich, da die in der Literatur gefundene kürzeste mittlere Bremsreaktionszeit bei 0,87 s (vgl. Winter et al., 2016) und die längste bei 3,2 s (vgl. Petermann-Stock et al., 2013) lag.

Des Weiteren unterscheiden sich die Ergebnisse dieser Arbeit von Studien, die ebenfalls mehrere FFT untersucht haben. So zeigten sich in Vogelpohl et al. (2016) keine Unterschiede bei den Rückübernahmezeiten zweier FFT. Auch Zeeb, Buchner und Schrauf (2016) untersuchten den Einfluss naturalistischer FFT (E-Mails schreiben, Nachrichten lesen und Video schauen) auf die Übernahmeleistung. In ihrer Studie wurden keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Rückübernahmezeiten in Abhängigkeit der untersuchten FFT festgestellt.

In einer weiterführenden Untersuchung dieser Arbeit wurde der zeitliche Verlauf zwischen Blickzuwendung und dem motorischen Eingreifen untersucht. Dabei konnte festgestellt werden, dass diese Zeitspanne unabhängig von den betrachteten FFT ist, woraus geschlossen werden kann, dass hauptsächlich der Tätigkeitswechsel im Sinne der Aufmerksamkeitsverschiebung auf die Fahrzeugführung abhängig von der FFT ist, welcher durch die Blickzuwendungszeit auf die Straße beschrieben werden kann.

Dies bedeutet, dass sich die Reaktionszeiten zwischen den einzelnen FFT nicht mehr unterscheiden, sobald der erste Blick auf die Straße gerichtet wird. Für den Aufbau der motorischen Bereitschaft konnte ein annähernd konstanter Wert identifiziert werden, der von unterschiedlich langen Blickreaktionszeiten moderiert wird (vgl. Δt in Abbildung 6-1).

Dieses Ergebnis hebt sich vom Befund von Summala (2000, vgl. Kapitel 2.2.3) ab. Demnach unterscheiden sich die *Reaktionsgrundzeit* und *Umsetzzeit* bei einer höheren mentalen Beanspruchung voneinander, selbst wenn keine weitere *Blickzuwendungszeit* bei manueller Fahrt benötigt wird. Somit kann dieser Beanspruchungsindikator nicht für das hochautomatisierte Fahren angewendet werden, da sich in dieser Arbeit trotz unterschiedlicher mentaler Beanspruchung durch unterschiedliche FFT (vgl. Kapitel 6.1.2) die motorische Bereitschaft in Abhängigkeit vom ersten Blick auf die Straße gleich schnell aufbaut.

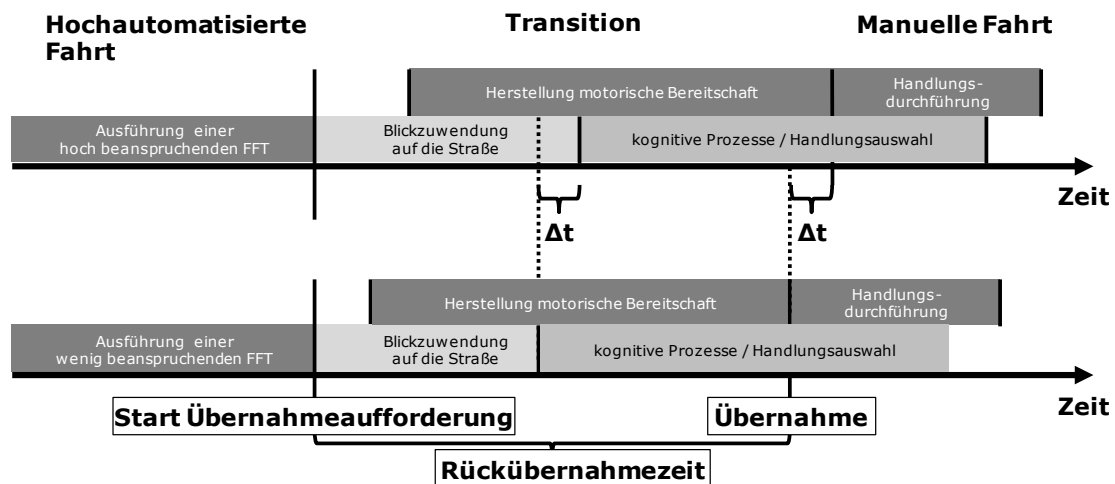


Abbildung 6-1: Schematische Darstellung zweier Übernahme-situationen mit unterschiedlich beanspruchenden FFT. Ursprüngliche Darstellung in Anlehnung an Zeeb (2016)

Bei den betrachteten Kenngrößen zur Rückübernahmequalität zeigen sich unterschiedliche Ergebnisse. Das Übernahmeverhalten erweist sich bei den untersuchten FFT als annähernd gleich, 30-40% weichen dem Hindernis aus, 60-70% übernehmen die Fahrzeugkontrolle indem sie das Bremspedal berühren. Jedoch zeigt sich, dass bei der FFT *Fahrt beobachten* deutlich weniger Personen eine Vollbremsung durchführten, als bei *Video schauen* oder *Text lesen* (vgl. Abbildung 5-34). Da beim Ausfall des automatisierten Systems alle Versuchsteilnehmer bei allen FFT die Fahrzeugführung wieder rückübernahmen und es zu keiner *Kollision* kam, kann die Kollisionsanzahl nicht als sensitives Gütekriterium genutzt werden.

Die Ergebnisse deuten weiter darauf hin, dass die FFT *Fahrt beobachten* die beste und wiederum die FFT *Text lesen* die schlechteste Rückübernahmequalität in Bezug auf den Kennwert TTC aufweist (vgl. Abbildung 5-35). Die weiteren FFT liegen dazwischen und unterscheiden sich nicht signifikant voneinander. Auch das subjektive Beurteilungsverfahren *TOC-Rating* konnte keine signifikanten Unterschiede bei den untersuchten FFT nachweisen (vgl. Abbildung 5-36). Dies spricht ebenfalls für relativ unkritische Rückübernahmesituationen.

In Bezug zur Rückübernahmequalität kann festgehalten werden, dass die benutzten Messmethoden (TOC-Rating und Kollisionsanzahl) aufgrund der geringen Kritikalität der Rückübernahmesituation keine aussagekräftigen Ergebnisse geliefert haben.

Trotz unterschiedlicher Ergebnisse konnten Unterschiede in Abhängigkeit der untersuchten FFT festgestellt werden. Daher wird trotzdem die zweite Leithypothese zur Rückübernahmequalität beibehalten:

LH3.2: Es gibt einen signifikanten Unterschied in der Rückübernahmequalität von automatisierter zu manueller Fahrt in Abhängigkeit unterschiedlicher ausgeführter FFT.

In einer weiterführenden Analyse wurde der Zusammenhang aus den beiden Konstrukten mentale Beanspruchung und Situationsbewusstsein in Verbindung mit der Rückübernahmezeit gebildet. Die Ergebnisse aus Kapitel 5.2.3 zeigen, dass FFT mit einem geringen oder keinem visuellen Aufwand in signifikant schnelleren Rückübernahmezeiten resultieren als Tätigkeiten mit hoher visueller Ablenkung, da hier bereits ein besseres Situationsbewusstsein vorhanden ist. Außerdem führen FFT mit einer hohen mentalen Beanspruchung zu längeren Reaktionszeiten (vgl. Abbildung 5-37). Aus diesem Grund wird die vierte Leithypothese beibehalten:

LH4: Mit steigender mentaler Beanspruchung und abnehmendem Situationsbewusstsein, hervorgerufen durch naturalistische FFT während hochautomatisierter Fahrt, nimmt die Rückübernahmefähigkeit signifikant ab.

Im Gegensatz zur Studie von Mantzke und Keinath (2015) konnte in dieser Arbeit ein signifikanter Zusammenhang zwischen mentalen Beanspruchungskennwerten in Form des Reiz-Reaktionszeittests und der Reaktionsfähigkeit in einer kritischen Situation festgestellt werden.

6.2 Allgemeine Diskussion zum Forschungsvorhaben

Nachdem die Methodik und die Ergebnisse der einzelnen FF diskutiert und die LH beibehalten bzw. abgelehnt wurden, werden die untersuchten Wechselwirkungen im aufgestelltem Untersuchungsmodell visualisiert. Nachfolgend wird das Forschungsvorhaben im Allgemeinen diskutiert.

In Abbildung 6-2 ist zu erkennen, dass die von den FFT und der hochautomatisierten Fahrt verursachte Belastung in einer messbaren Beanspruchung resultiert. Dies konnte für alle drei Messmethoden nachgewiesen werden (LH1). Auch konnte der Zusammenhang des Situationsbewusstseins und der untersuchten FFT nachgewiesen werden (LH2.1). Das Situationsbewusstsein verbessert sich mit einer Vorwarnzeit, jedoch konnten keine Unterschiede bei dem Situationsbewusstsein zwischen einer kurzen und langen Vorwarnzeit festgestellt werden (LH2.2). Auch führt eine Vorwarnzeit in dem betrachteten Anwendungsfall nicht zu einem Angleichen der Situationsbewusstseinserte, da sich diese nach wie vor in Abhängigkeit zur ausgeübten FFT unterscheiden und hier die unterschiedliche Unterbrechbarkeit einer FFT identifiziert wurde (LH2.3). Es zeigten sich ebenfalls in Abhängigkeit der untersuchten FFT signifikante Unterschiede bei der Rückübernahmezeit und -qualität (LH3.1, LH3.2). Des Weiteren kann die Rückübernahmezeit durch die Konstrukte mentale Beanspruchung und Situationsbewusstsein erklärt werden (LH4).

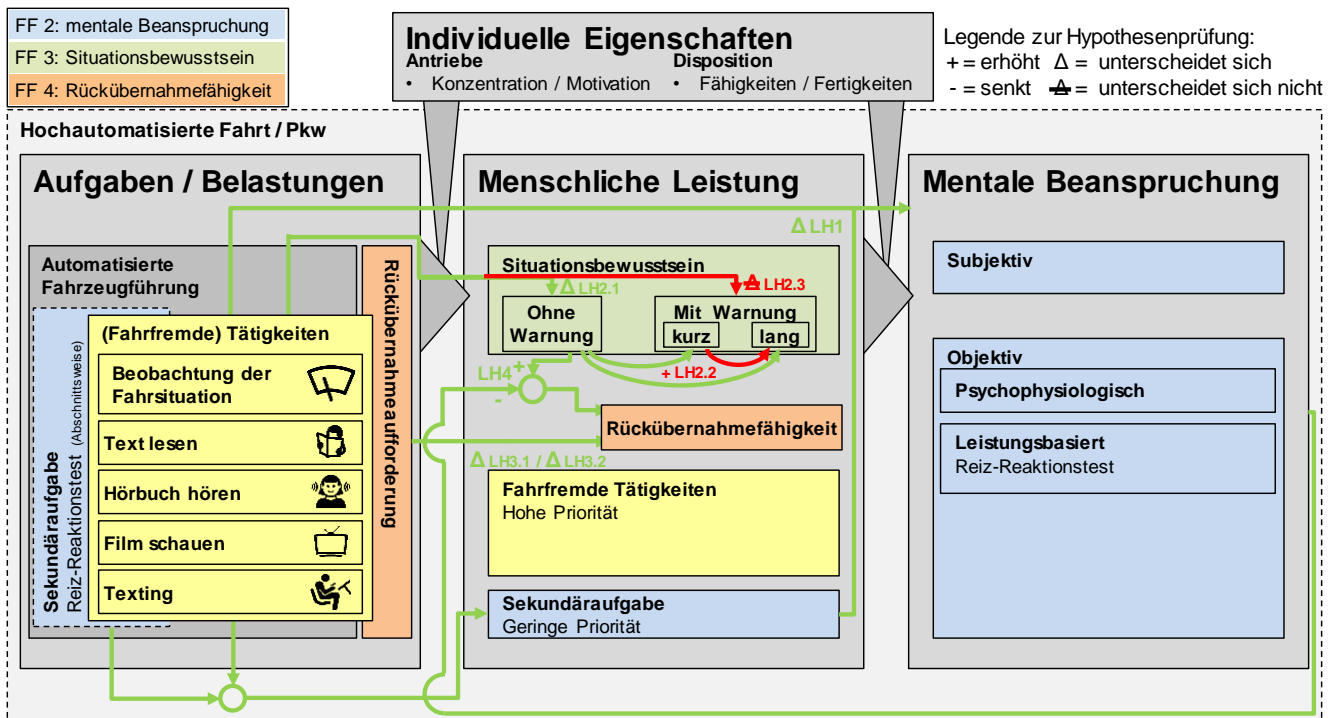


Abbildung 6-2: Untersuchungsmodell mit überprüften Leithypothesen (grün: beibehalten, rot: verworfen)

Da noch kein für den Straßenverkehr zugelassenes Fahrzeug mit entsprechendem Automationsumfang zur Verfügung stand und innerhalb des Hauptversuchs die SAGAT-Messmethode angewandt wurde, musste das Forschungsvorhaben in einem Fahrsimulator durchgeführt werden. Dies zieht jedoch die Konsequenz nach sich, dass die Übertragbarkeit auf den realen Straßenverkehr unter Umständen nur eingeschränkt gegeben ist. Beispielsweise könnten sich die Probanden durch ein potentiell erhöhtes Sicherheitsgefühl im Simulator anders verhalten haben oder der Mangel an äußeren Reizen, wie Beschleunigungskräften, könnte dazu geführt haben, dass sie schneller ermüdeten oder risikobereiter agierten (Glendon, Hoyer, Haigney & Taylor, 1996).

Um dies zu überprüfen wurde am Ende der Versuchsdurchführung ein Fragebogen zur Bewertung des Versuchsaufbaus ausgehändigt. Die durchschnittliche Antwort auf die Frage „Im realen Straßenverkehr hätte ich mich in einem automatisiert fahrenden Fahrzeug anders verhalten“ beträgt 3,49 (SD = 1,20; 1 = Trifft gar nicht zu; 5 = Trifft voll zu). Dies bestätigt die gerade aufgestellte These. Bei Nachfrage wurde außerdem erwähnt, dass sie dem automatisierten System nicht vertrauten und daher die Fahrt weiter überwachten. Daher kann der Aspekt der zu alleinigen Priorisierung auf die FFT (vgl. Subsidiary-Task Paradigma) und somit der möglichen Verfälschung der Rückübernahmefähigkeitsdaten als vernachlässigbar angesehen werden. Das Eintauchen in die Simulation wurde mit der Frage „Die Immersion ist mir leichtgefallen“ durchschnittlich mit 3.71 bewertet (SD = 0,97; 1 = Trifft gar nicht zu; 5 = Trifft voll zu). Dies kann als positiv für die angebotene Versuchsumgebung gewertet werden. Der Echtheitsgrad der Simulation wurde mit einer leichten Tendenz in Richtung „trifft zu“ bewertet MW = 3,25 (SD = 0,94; 1 = Trifft gar nicht zu; 5 = Trifft voll zu).

Auch wenn die gemessenen Absolutwerte von der Realität abweichen könnten sind durch den standardisierten Versuchsaufbau die identifizierten relativen Unterschiede zwischen den untersuchten FFT auf die Praxis übertragbar (Godley, Triggs & Fildes, 2002).

Wie schon erwähnt übte der verwendete statische Simulator keine Beschleunigungskräfte auf die Versuchspersonen aus, sodass das Geschwindigkeitsverhalten nur über den visuellen Sinneskanal erfasst werden konnte. Selbst bei der Ausführung von visuell ablenkenden FFT wurde das Geschwindigkeitsempfinden durch das periphere Sehen gut wahrgenommen, da einige Probanden während einer Situationsbewusstseinsmessung (*Text lesen ohne Vorwarnzeit*) dazu neigten, sich von der FFT abzuwenden, wenn das Fahrzeug vor einem Zebrastreifen langsamer wurde.

Ferner ergeben sich aus dem verwendeten Versuchsdesign einige Einschränkungen. Aufgrund der Variablenanzahl und der Stichprobengröße wurde ein Within-Subjects Study Design verwendet. Hierbei müssen vor allem Lerneffekte berücksichtigt werden. Um dem entgegenzuwirken, wurde die Strecke für jede FFT unterschiedlich aufgebaut, die Events in unterschiedlicher Reihenfolge platziert und die erlebten FFT für jeden Probanden durchpermutiert. Des Weiteren war davon auszugehen, dass die Rückübernahmefähigkeit mit steigender Wiederholungsanzahl zeitlich schneller wird (vgl. Zhang et al., 2019). Jedoch wurde in dieser Arbeit weder bei der Rückübernahmefähigkeit noch bei der Situationsbewusstseinsmessung ein Reihenfolgeeffekt beobachtet (vgl. Anhang H).

Die Versuchsdauer lag zwischen 3,5 und 4 Stunden, in Abhängigkeit davon, wie viel Zeit die Probanden für die Beantwortung der Fragebögen benötigten. Insgesamt gab es zwischen den Abschnitten genügend Pausen für die Nahrungsaufnahme und zur Erholung. Dennoch äußerten einige Versuchsteilnehmer, dass ihnen der Versuch zu lang andauerte. Ein Lösungsansatz dafür wäre den Umfang der untersuchten FFT oder entsprechende Messmethoden zu reduzieren. Der Stichprobenumfang wurde ausreichend dimensioniert, um etwaige Messausfälle zu kompensieren.

Um eine gute Übertragbarkeit für die Praxis sicherzustellen, wurde der Fokus dieses Forschungsvorhaben auf naturalistische FFT gelegt. Der Nachteil naturalistischer FFT im Gegensatz zu standardisierten (beispielsweise *n-Back* oder *SuRT*) liegt jedoch in einer geringeren Vergleichbarkeit mit weiteren Studien sowie einer erschwerten Abfrage ihrer primären Leistungserfüllung. Zu Gunsten der Übertragbarkeit in die Praxis, wurden sie dennoch den standardisierten FFT vorgezogen.

Die Auswahl der naturalistischen FFT wurde auf Basis von zwei Nutzerstudien getroffen (vgl. Kapitel 4). Bei der Auswahl wurde vor allem darauf geachtet, dass sich die FFT hinsichtlich ihrer physiologischen Modalitäten unterscheiden (vgl. Chase (2014), European Commission (2015) und K. Young et al. (2003)). Es wurden FFT ausgewählt, die 1) vorwiegend visuell wahrgenommen werden (*Text lesen*), 2) vorwiegend auditiv wahrgenommen werden (*Hörbuch hören*), 3) eine Kombination aus 1) und 2) sind (*Video schauen*), 4) einen motorischen Anteil aufweisen (*Texting*) sowie 5) eine Referenz darstellen

(*Fahrt beobachten*). Diese Klassifizierung erwies sich auf Basis der Rückübernahmefähigkeitsergebnissen als nicht zielgerichtet, da beispielsweise die FFT *Video schauen* geringere mentale Beanspruchungswerte und höhere Situationsbewusstseinswerte als die FFT *Text lesen* aufweist, obwohl zwei physiologische Kanäle angesprochen werden. Auf Basis der vorliegenden Ergebnisse kann die mentale Beanspruchung als mögliche Klassifizierung von FFT angesehen werden.

6.3 Beantwortung der Forschungsfragen

Die erste einleitende Forschungsfrage lautete:

FF1 Welche naturalistischen fahrfremden Tätigkeiten (FFT) wollen Personen heutzutage im hochautomatisierten Pkw ausführen?

Zur Beantwortung dieser Fragen konnte zunächst auf Basis einer umfassenden Literaturrecherche ein Überblick über die in der Vergangenheit untersuchten FFT erarbeitet sowie anschließend verschiedene Ansätze zur Kategorisierung aufgezeigt werden.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass Personen während der hochautomatisierten Fahrt vor allem Musik oder Radio hören, über etwas nachdenken, Kurznachrichten oder E-Mails am Smartphone lesen bzw. schreiben, telefonieren oder aus dem Fenster schauen wollen. Darüber hinaus zeigte sich, dass unter den Probanden im Vergleich zur manuellen Fahrt eine erheblich gesteigerte Affinität zum Lesen, zur Nutzung von Smartphones, Tablets oder Computern zur Kommunikation oder zum Surfen im Internet sowie zum Ansehen von Filmen oder Videos während der automatisierten Fahrt vorlag. Der Vergleich zwischen manuellen und hochautomatisierten Fahrszenarien stellte zudem heraus, dass die Bereitschaft eine FFT auszuführen mit zunehmendem Automationsgrad signifikant steigt.

Auf Grundlage der ersten Forschungsfrage wurde eine Auswahl an fünf naturalistischen FFT (*Text lesen*, *Hörbuch hören*, *Video schauen*, *Texting* und *Fahrt beobachten*) getroffen. Die ausgewählten FFT wurden im weiteren Verlauf in Bezug auf die mentale Beanspruchung, das Situationsbewusstsein sowie die RÜA mit weiteren Forschungsfragen untersucht. Die zweite Forschungsfrage lautete dementsprechend:

FF2 Wie unterscheidet sich die **mentale Beanspruchung** bei Ausführung verschiedener naturalistischer FFT während hochautomatisierter Fahrt?

Ein neuer Aspekt dieser Forschungsarbeit ist unter anderem die Bewertung von mentalen Beanspruchungsmessmethoden im Kontext von FFT während hochautomatisierter Fahrt. Die mentale Beanspruchung der untersuchten FFT wurde mit verschiedenen Messmethoden ermittelt und ausführlich in Kapitel 6.1.2 diskutiert. Hierbei zeigte jede verwendete Messmethode erwartungsgemäß signifikante

Unterschiede bei den mentalen Beanspruchungsniveaus der untersuchten FFT im Vergleich zum Referenzwert (im stehendem Fahrzeug sitzen ohne Simulationsumgebung). Die Ergebnisse der verschiedenen Messmethoden waren jedoch nicht alle in sich konsistent. So zeigten sich in Abhängigkeit der verwendeten Messmethode Unterschiede zwischen subjektiv empfundenen und psychophysiologischen sowie zwischen subjektiv empfundenen und leistungsbasierten mentalen Beanspruchungsdaten. Ein möglicher Erklärungsansatz hierfür ist, dass die subjektiv empfundene Beanspruchung durch den Spaß an der Nutzung einer FFT beeinflusst wird. Wie im vorherigen Kapitel bereits verdeutlicht wurde, empfanden Probanden ihre Beanspruchung geringer als sie durch objektive Messmethoden ermittelt werden konnte, während sie sich einer subjektiv als spaßiger empfundenen FFT wie dem Texting gewidmet haben.

Die psychophysiologisch eingesetzten Messinstrumente zur Bestimmung der okularen, kardiovaskulären und elektrodermalen Aktivität sind bei den untersuchten FFT im Fahrsimulator nur bedingt zur Erfassung der mentalen Beanspruchung geeignet, da sie alle eine hohe Varianz bei den Messergebnissen aufweisen. Ein sensitives Werkzeug, um die mentale Beanspruchung einer FFT während hochautomatisierter Fahrt zu bestimmen, ist die leistungsbasierte Messung mittels konkurrierender Sekundäraufgabe in Form des Reiz-Reaktionszeittests nach DIN ISO 17488 (2016).

Das Lesen und das Texting wurden von den psychophysiologischen und leistungsbasierten Messmethoden durchweg als die beanspruchendsten FFT identifiziert. Das subjektive Empfinden bestätigt dies nur für die FFT *Text lesen*. Die FFT *Hörbuch hören*, *Video schauen* und *Fahrt beobachten* zeigen bei den psychophysiologischen und leistungsbasierten Beanspruchungskennwerten keine nennenswerten Unterschiede.

Die dritte Forschungsfrage bezieht sich auf das Situationsbewusstsein während der Ausführung von FFT während hochautomatisierter Fahrt und lautet wie folgt:

FF3 Wie unterscheidet sich das **Situationsbewusstsein** bei der Ausführung verschiedener naturalistischer FFT während hochautomatisierter Fahrt und führt eine Vorwarnzeit zu einem höheren Situationsbewusstsein?

Die Ergebnisse zeigen, dass sich das Situationsbewusstsein je nach ausgeführter FFT unterscheidet. Vor allem FFT mit einem visuellen Anteil weisen erwartungsgemäß ein schlechteres Situationsbewusstsein auf. Bereits durch eine kurze Vorwarnzeit von zwei Sekunden kann ein signifikant höheres Situationsbewusstsein als ohne Vorwarnzeit über alle FFT aufgebaut werden. Entgegen der Annahme konnte kein signifikanter Unterschied zwischen einer zwei- und acht-sekündigen Vorwarnzeit festgestellt werden.

Eine weitere These war, dass sich das Situationsbewusstsein unter den ausgeführten FFT nach einer Vorwarnzeit nicht mehr unterscheidet. Dieser Effekt konnte nicht beobachtet werden, was darauf schließen lässt, dass bei den FFT *Text lesen* und *Video schauen* auch eine lange Vorwarnzeit von acht Sekunden nicht für den vollständigen Aufgabenwechsel von FFT zurück zur Fahraufgabe ausreicht.

Beide vorherigen Forschungsfragen haben sich auf die FFT während der hochautomatisierten Fahrt bezogen. Die letzte Forschungsfrage schließt den Aufgabenwechsel von der FFT hin zur manuellen Fahrzeugführung mit ein und lautet wie folgt:

FF4 Wie unterscheidet sich die **Rückübernahmefähigkeit** bei der Ausführung verschiedener naturalistischer FFT und kann diese durch die mentale Beanspruchung und das Situationsbewusstsein erklärt werden?

Die Datengrundlage zeigte, dass sich die Blickzuwendungszeit zwischen RÜA und dem *ersten Blick auf die Straße* bei einem kritischen Ereignis in Abhängigkeit der untersuchten FFT signifikant voneinander unterscheiden (495 ms - 790 ms). Auch die *Rückübernahmezeit* zwischen RÜA und der Kontrollübernahme des Fahrzeugs unterscheidet sich signifikant in Abhängigkeit der untersuchten FFT (1,1 s - 1,64 s). Eine weitergehende Analyse zeigte, dass ab dem Moment, indem der Blick auf die Straße gerichtet wird, ein annähernd konstanter Zeitwert von ca. 0,7 s - 0,8 s über alle untersuchten FFT hinweg benötigt wird, um die Kontrolle wieder übernehmen zu können. Daraus lässt sich resümieren, dass die Blickzuwendungszeit von der FFT beeinflusst wird, aber die darauffolgende Zeit bis zur Rückübernahme unabhängig von der FFT ist. Die Rückübernahmequalität der betrachteten FFT unterscheidet sich ebenfalls signifikant voneinander. Die FFT *Fahrt beobachten* weist bei dem Kennwert Übernahmeverhalten die geringste Anzahl an Vollbremsungen und gleichzeitig einen hohen TTC-Wert auf, was ein großes Zeitfenster zum Umfahren des Hindernisses widerspiegelt und damit als gut zu bewerten ist. Die FFT *Text lesen* zeigt dagegen schlechtere Rückübernahmequalitätswerte auf.

Anhand dieser Arbeit konnte des Weiteren aufgezeigt werden, dass ein hohes Situationsbewusstseinsniveau einen positiven und eine niedrige mentale Beanspruchung einen signifikant positiven Einfluss auf die minimale Rückübernahmezeit besitzt.

7 Fazit und Ausblick

Nach der vorausgegangenen Diskussion wird in diesem Kapitel ein Fazit durch Nennung von Gestaltungsempfehlungen gezogen und im Anschluss ein Ausblick auf weitere Forschungsaspekte gegeben.

7.1 Gestaltungsempfehlungen

Im Gegensatz zu teilautomatisierten Fahrzeugen – bei denen der Fahrzeugnutzer die Fahrsituation durchgängig überwachen muss – sind hochautomatisierte Systeme in der Lage die Fahraufgaben selbständig zu bewältigen. Dadurch ermöglichen sie es dem Fahrzeugnutzer sich vom Straßenverkehr abzuwenden. Nach gegebener Definition muss der Fahrzeugnutzende jedoch die Fahraufgabe bei einer RÜA wieder übernehmen.

Diese Arbeit zeigt, dass Personen den Wunsch äußern, sich mit FFT parallel zur hochautomatisierten Fahrt zu beschäftigen, um so Ihre neu gewonnene Zeit nach ihren eigenen Bedürfnissen sinnvoll gestalten zu können. Neben FFT, die bereits heute bei manueller Fahrt ausgeführt werden, jedoch eine geringe Auswirkung auf die Fahrtätigkeit besitzen, wie beispielsweise: *Musik hören* oder *über etwas nachdenken*, *mit dem Beifahrer interagieren* (vgl. Kapitel 4), wollen Personen zukünftig vor allem auch visuelle FFT während hochautomatisierter Fahrt ausüben. So wurden besonders häufig *Kurznachrichten am Smartphone lesen / schreiben*, *im Internet oder sozialen Medien surfen*, *etwas lesen* aber auch *aus dem Fenster schauen (ohne Bezug zur Fahrt)* genannt. Daher können die Erkenntnisse aus Kapitel 4 genutzt werden, um zukünftig Mensch-Maschine-Schnittstellen für die FFT zu gestalten.

Weiter ist an dieser Stelle zu sagen, dass in dem Automatisierungsgrad der Fahrzeugnutzende dennoch als Rückfallebene gilt und daher schnell und sicher zur Fahrzeugübernahme bereit sein muss. Diese Tatsache schließt auch die Sitzposition während hochautomatisierter Fahrt mit ein. Neue Raum- und Sitzkonzepte (vgl. Yang, Klinkner & Bengler, 2019) ziehen in Betracht, dass sich die Sitze im Fahrzeug beim automatisierten Fahren verdrehen lassen oder dass eine entspannte Liegeposition eingenommen werden kann. Jedoch sollten für eine schnelle Rückübernahmefähigkeit während hochautomatisierter Fahrt das Lenkrad im Greifbereich sowie die Pedale nah an den Füßen positioniert sein.

Auch stehen die parallele Ausführung von FFT und eine kurze Rückübernahmezeit in kritischen Situationen in einem Konflikt zueinander. Einerseits bringt es entsprechende Vorteile Fahrzeugautomationen zu nutzen (vgl. Kapitel 1.1), andererseits besteht bei einer Automation beispielsweise das erhöhte Risiko einer verminderten Rückübernahmefähigkeit. Um eine bessere Rückübernahmefähigkeit zu gewährleisten, kann aus dieser Arbeit geschlussfolgert werden, dass Personen keine hohe mentale Beanspruchung, jedoch ein hohes Situationsbewusstsein aufweisen sollten.

Die mentale Beanspruchung kann durch die Aufgabenschwierigkeit oder Komplexität der FFT maßgeblich beeinflusst werden. Dabei hat die Wahrnehmungsmodalität einer FFT einen geringeren Einfluss auf die mentale Beanspruchung als die kognitive Last, die durch eine FFT hervorgerufen wird. Eine zu geringe mentale Beanspruchung kann zu einer Unterforderung und dadurch zu einer monotoniebedingten Ermüdung führen, die ebenfalls vermieden werden sollte. Dies kann zum Beispiel durch den gezielten Einsatz von FFT (vgl. Neubauer et al., 2012) oder wie in Bier (2019) durch Gamificationelemente erreicht werden.

Das Situationsbewusstsein ist bei FFT mit einem geringen visuellen Anteil höher als bei FFT mit hoher visueller Ablenkung. In der Arbeit konnte bestimmt werden, dass bereits zwei Sekunden Vorwarnzeit zu einem signifikant besseren Situationsbewusstsein führen. Daher wird für den Fall, dass die aktuelle Verkehrslage durch das Automatisierungssystem nicht gänzlich bestimmt werden kann und eine mögliche Kollision droht, empfohlen, dem Fahrzeugnutzenden rechtzeitig eine Warnmeldung auszuspielen, um schnellstmöglich ein hohes Situationsbewusstsein aufzubauen.

Aufgrund der genannten Konflikte zwischen dem Ausführen von FFT und einer kurzen Rückübernahmezeit kann resümierend die Frage gestellt werden, ob die Automatisierungsstufe *hochautomatisiertes Fahren* ein anzustrebender Automationsansatz ist oder ob FFT erst ab Level 4, bei dem der Mensch nicht mehr in das Fahrgeschehen eingreifen muss, erlaubt sein sollten.

7.2 Ausblick

Da ein direkter Zusammenhang zwischen mentaler Beanspruchung und Rückübernahmezeit festgestellt werden konnte, empfiehlt sich diese FFT-Klassifikation. Um den Messaufwand zur Bestimmung der mentalen Beanspruchung zu reduzieren, werden insbesondere Leistungsmaße empfohlen. Der Reiz-Reaktionszeittest nach DIN ISO 17488 (2016) eignet sich für weitere Untersuchungen von FFT während hochautomatisierter Fahrt, da dieser die *reliableren* Ergebnisse im Vergleich zu den anderen Messmethoden aufweist.

Die nachgewiesene Korrelation zwischen dem Situationsbewusstsein und der Rückübernahmezeit stellt ebenfalls weiteren Forschungsbedarf dar. Um trotz der hochautomatisierten Fahrt und der gleichzeitigen Ausführung von FFT eine hohe Rückübernahmefähigkeit – im Sinne von qualitativ gut und schnell – zu erreichen, sollte der Aspekt der Situationsbewusstseinsaufrechterhaltung weiter erforscht werden. Mögliche Ansätze könnten daher sein die FFT in den Fahrkontext zu implementieren oder eine temporäre Unterbrechung der FFT zu erzwingen. Dies sollte zukünftig einerseits im Hinblick auf das erreichte Situationsbewusstsein und andererseits auf die Nutzerakzeptanz untersucht werden. Weiterführend sollte das Erlangen des Situationsbewusstseins im Kontext der hochautomatisierten Fahrt bei Ausführung von FFT im Detail analysiert werden. Dafür sollte die Vorwarnzeit länger gewählt und die Zeitschritte feiner abgestuft werden. Des Weiteren sollte der Aspekt der Unterbrechbarkeit von FFT

weiter untersucht werden, da sich in dieser Studie trotz Vorwarnzeit das Situationsbewusstsein in Abhängigkeit der FFT unterschied.

Vereinzelt konnte bei den Probanden eine Kinetose festgestellt werden, weshalb auch fünf Probanden den Versuch abbrechen mussten. In einer Pilotstudie konnten bereits sich positiv auswirkende Strategien zur Vermeidung körperlichen Unwohlseins mittels einer LED-Lichtleiste im peripheren Sichtfeld, welches die zukünftigen Querschleunigungen visualisiert, erkannt werden. Da Personen bei Ausführung von FFT während hochautomatisierter Fahrt vermutlich seltener auf die Umgebung achten werden, sollte dieser Aspekt weiter erforscht werden.

Auch sollte an dieser Stelle kritisch betrachtet werden, dass die hier untersuchten FFT einen geringen bis keinen motorischen Anteil hatten. Eine zusätzlich physische Abwendung von der Fahraufgabe sollte daher im hochautomatisierten Kontext weiter untersucht werden.

Generell gilt es die Versuche auch in einen realen Kontext mit hochautomatisiertem Fahrzeug im kontrollierten Feld zu übertragen sowie zu evaluieren und somit die Validität eines Fahrsimulators in Bezug auf die Ausführung von FFT während hochautomatisierter Fahrt zu überprüfen. Dies gilt nicht nur für die Rückübernahmefähigkeit, sondern ebenfalls für das Situationsbewusstsein und die mentale Beanspruchung.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Langfristige Entwicklung der Verkehrstoten in Deutschland zwischen 1953 und 2017 Statistisches Bundesamt (2018).....	1
Abbildung 1-2: Aufbau der Arbeit	4
Abbildung 2-1: Einfaches Handlungsmodell nach Luczak (1975)	7
Abbildung 2-2: Informationsverarbeitungsmodell in Anlehnung an Wickens und Carswell (2012)	8
Abbildung 2-3: Verarbeitungsstufen im Kapazitätsbegrenzungsmodell nach Pashler (1994).....	9
Abbildung 2-4: Links: Leistungs-Ressourcen-Funktion; Rechts: Performance-Operating- Characteristics in Anlehnung an Norman und Bobrow (1975)	9
Abbildung 2-5: Struktur der Verarbeitungsressourcen nach Wickens (1984).....	10
Abbildung 2-6: Systematische Darstellung einer manuellen Rückübernahme der automatisierten Fahrzeugführung in Anlehnung an Zeeb (2016)	14
Abbildung 2-7: Zeitanteile eines Notbremsvorgangs in Anlehnung an Burckhardt (1985), modifiziert nach Weiße (2003)	16
Abbildung 2-8: Modell der <i>Unaufmerksamkeit</i> in Anlehnung an Regan et al. (2011), übersetzt von Hackenfort (2012)	17
Abbildung 2-9: Das erweiterte Belastungs-Beanspruchungs-Konzept nach Luczak (1975, modifiziert von Rohmert, 1984), Rückkopplungen weggelassen	23
Abbildung 2-10: Workload als Prozessmerkmal (Mediator) der Aufgabenbewältigung in Anlehnung an Buld et al. (2014)	25
Abbildung 2-11: Auszug des Situationsbewusstseinsmodell nach Endsley (1995).....	26
Abbildung 3-1: Modell zur Untersuchung von naturalistischen FFT während hochautomatisierter Fahrt in Abhängigkeit der Beanspruchung, des Situationsbewusstseins und der Übernahmefähigkeit. Basierend auf dem BBK nach Luczak (1975, modifiziert von Rohmert 1984)	37
Abbildung 3-2: Untersuchungsmodell mit eingezeichneten Leithypothesen	40
Abbildung 3-3: Entscheidungsdiagramm zur statistischen Auswertung in Anlehnung an Blankenberger und Vorberg (1998)	41
Abbildung 4-1: Altersverteilung der Onlineumfrage	45
Abbildung 4-2: Ergebnisse der Onlineumfrage: „Bitte bewerten Sie, wie häufig Sie folgende Tätigkeiten bei manueller Fahrt ausführen“ Kategorien: <i>sehr häufig, häufig, gelegentlich, selten</i> und <i>nie</i> (N = 164).....	46
Abbildung 4-3: Ergebnisse der Onlineumfrage: „Bitte bewerten Sie, wie häufig Sie folgende Tätigkeiten während hochautomatisierter Fahrt ausführen würden“. Kategorien: <i>sehr häufig, häufig,</i> <i>gelegentlich, selten</i> und <i>nie</i> (N = 164)	47

Abbildung 4-4: Ergebnisse der Onlineumfrage: „Bitte bewerten Sie, wie häufig Sie folgende Tätigkeiten ausführen (würden)“ in Abhängigkeit der Automation. Kategorien (N = 164)	48
Abbildung 4-5: Links: Außenansicht des statischen Fahrsimulators am Institut für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt;	50
Abbildung 4-6: Schematischer Versuchsaufbau aus der Vogelperspektive mit kurzer Beschreibung der entsprechenden Workstationaufgaben (WS) Aufgaben	50
Abbildung 4-7: Übersicht über das Videosignal: oben links: Ansicht des Versuchsteilnehmenden; oben rechts: Fußraumkamera; unten links: Ansicht Fahrerarbeitsplatz von hinten rechts; unten rechts: Frontprojektionssichtkanal mit weiteren Simulationskennwerten sowie rechts daneben die Vogelperspektive der aktuellen Verkehrslage	51
Abbildung 4-8: Screenshot der verwendeten Software <i>TaskObserver2.1</i>	52
Abbildung 4-9: Ergebnisse der Cover-Story-Studie. Anzahl der Personen die eine FFT ausgeführt haben N = 30	53
Abbildung 4-10: Ergebnisse der Cover-Story-Studie. Anzahl der ausgeführten FFT über den zeitlichen Verlauf N = 30 (<i>TaskObserver2.1</i>), gleichzeitige Ausführung mehrerer FFT möglich	54
Abbildung 5-1: Übersicht der in dieser Arbeit verwendeten Beanspruchungsmessmethoden und Messwerte. Der Pfeil stellt einen Indikator zur Korrelationsrichtung des jeweiligen Messwerts und der mentalen Beanspruchung dar	57
Abbildung 5-2: Beanspruchung und Leistungserfüllung nach DeWaard (1996)	63
Abbildung 5-3: Verwendung von Sekundäraufgaben zur Messung von Kapazitätsreserven in Anlehnung an Farmer und Brownson (2003).....	64
Abbildung 5-4: Angewandtes Versuchsdesign. Die Höhe der Events: Beanspruchungsmessung, Sekundäraufgabe und RÜA repräsentieren der Aufgabenbelastung zusätzlich zur FFT.....	70
Abbildung 5-5: Altersverteilung der Fahrsimulatorstudie	73
Abbildung 5-6: Darstellung des Streckenverlaufs in m (Vogelperspektive: x-y-Koordinatensystem) für die FFT <i>Lesen</i> . Farbliche Kodierung: (grün) Beanspruchungsmessung, (blau) Sekundäraufgabe, (orange) RÜA, (rot) kein definierter Messbereich	75
Abbildung 5-7: Exemplarisches Verkehrssituation bei der RÜA.....	76
Abbildung 5-8: Schematischer zeitlicher Ablauf der drei Situationsbewusstseinsmesszeitpunktvarianten	77
Abbildung 5-9: Exemplarischer Auszug der Kreuzungsszenarien zur Situationsbewusstseinsmessung kurz bevor die Simulation pausiert und die Leinwände schwarz maskiert werden	78
Abbildung 5-10: Links: Veranschaulichung der Klebepunkte der EKG-Elektroden auf dem Oberkörper;	79

Abbildung 5-11: Links: Verwendete Blickbewegungsbrille vom Typ <i>Dikablis Glasses 3</i> (Ergoneers GmbH); Rechts: Screenshot D-Lab: Aufnahme des linken Auges	79
Abbildung 5-12: Aufbau des Reiz-Reaktionszeittests nach DIN ISO 17488 (2016) (von links nach rechts: 1) Visueller Reiz via LED (Kopfbefestigung), 2) Lautsprecher für den auditiven Reiz an der Kopfstütze, 3) Taktile Reiz mittels Vibrationsmotor am Schlüsselbein, 4) Antwortknopf an der linken Türverkleidung	80
Abbildung 5-13: Ansicht der Analysesoftware D-Lab: Kreuz entspricht aktueller Blickrichtung sowie Darstellung von AoI-Feldern	85
Abbildung 5-14: Auswertung der Fahrzeugdaten nach einer RÜA: 1) Bremspedalverlauf, 2) Gaspedalverlauf, 3) Lenkwinkelverlauf	86
Abbildung 5-15: TOC Rating ausgefüllter Kodierungsbogen	87
Abbildung 5-16: Boxplotdarstellung <i>NASA-TLX – Gesamtscore (gewichtet)</i> in Abhängigkeit der untersuchten FFT in Punkten	90
Abbildung 5-17: Boxplotdarstellung <i>NASA-TLX – Geistige Anforderungen</i> in Abhängigkeit der untersuchten FFT in Punkten	91
Abbildung 5-18: Boxplotdarstellung <i>Lidschlussrate</i> in Abhängigkeit der untersuchten FFT in bpm ...	93
Abbildung 5-19: Boxplotdarstellung der <i>Herzschlagrate</i> in Abhängigkeit der untersuchten FFT in bpm	94
Abbildung 5-20: Boxplotdarstellung der Ergebnisse <i>Herzfrequenzvariabilität</i> in Abhängigkeit der untersuchten FFT in ms	94
Abbildung 5-21: Boxplotdarstellung der Ergebnisse <i>Hautleitfähigkeit</i> in Abhängigkeit der untersuchten FFT in μS	95
Abbildung 5-22: Balkendarstellung der Ergebnisse <i>Antwortrate</i> beim visuellen Reiz-Reaktionszeittest in Abhängigkeit der untersuchten FFT in %	97
Abbildung 5-23: Boxplotdarstellung der Ergebnisse <i>Reaktionszeit</i> beim visuellen Reiz-Reaktionszeittest in Abhängigkeit der untersuchten FFT in ms	98
Abbildung 5-24: Boxplotdarstellung der Ergebnisse <i>Reaktionszeit</i> beim visuellen (blau), auditiven (grün) und taktilen (gelb) Reiz-Reaktionszeittest in Abhängigkeit der untersuchten FFT in ms....	99
Abbildung 5-25: Boxplotdarstellung der Ergebnisse <i>Leistungserfüllung der FFT in Abhängigkeit der untersuchten Abschnitte Beanspruchungsuntersuchung (grün) und Sekundäraufgabe (gelb)</i> in % ..	100
Abbildung 5-26: Boxplotdarstellung der Ergebnisse <i>Situationsbewusstsein ohne Vorwarnzeit</i> in Abhängigkeit der untersuchten FFT in %	101
Abbildung 5-27: Boxplotdarstellung der Ergebnisse <i>Situationsbewusstsein mit kurzer Vorwarnzeit</i> in Abhängigkeit der untersuchten FFT in %	102

Abbildung 5-28: Boxplotdarstellung der Ergebnisse <i>Situationsbewusstsein mit langer Vorwarnzeit</i> in Abhängigkeit der untersuchten FFT in %	104
Abbildung 5-29: Boxplotdarstellung der Situationsbewusstseinsergebnisse <i>ohne (blau), mit kurzer (grün) sowie langer (gelb) Vorwarnzeit</i> in %, Signifikante Unterschiede mit einem * gekennzeichnet	105
Abbildung 5-30: Zusammenfassung der Situationsbewusstseinsergebnisse in % (Gemittelt über alle FFT)	105
Abbildung 5-31: Boxplotdarstellung der Ergebnisse <i>Erster Blick auf die Straße nach RÜA</i> in Abhängigkeit der untersuchten FFT in ms.....	107
Abbildung 5-32: Boxplotdarstellung der Ergebnisse <i>Minimale Rückübernahmezeit nach RÜA</i> in Abhängigkeit der untersuchten FFT in s.....	108
Abbildung 5-33: Boxplotdarstellung der Ergebnisse <i>Zeitlicher Verlauf zwischen Blickzuwendung und motorischen Eingreifen</i> in Abhängigkeit der untersuchten FFT in s.....	109
Abbildung 5-34: Übernahmeverhalten in Abhängigkeit der untersuchten FFT	110
Abbildung 5-35: Boxplotdarstellung der Ergebnisse zu <i>TTC</i> in Abhängigkeit der untersuchten FFT in s	110
Abbildung 5-36: Boxplotdarstellung der Ergebnisse <i>TOC</i> in Abhängigkeit der untersuchten FFT in Punkten	111
Abbildung 5-37: Entscheidungsbaum zur erklärenden Variable <i>Übernahmezeit</i> (kurz entspricht einer Rückübernahmezeit < 1,33 s, lang sind alle andere Fälle) mit den Prädiktoren <i>mentale Beanspruchung</i> (1 = gering, 2 = mittel, 3 = hoch) und <i>Situationsbewusstsein</i> (1 = gering, 2 = mittel, 3 = hoch).....	113
Abbildung 6-1: Schematische Darstellung zweier Übernahmesituationen mit unterschiedlich beanspruchenden FFT. Ursprüngliche Darstellung in Anlehnung an Zeeb (2016)	127
Abbildung 6-2: Untersuchungsmodell mit überprüften Leithypothesen (grün: beibehalten, rot: verworfen)	129

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Zusammenfassung der Kategorisierungen von Automatisierungsstufen nach VDA, BAST, BMVI, SAE und NHTSA in Anlehnung an Bartels und Ruchatz (2015) und Kompass (2015) sowie Darstellung der Aufgabenteilung zwischen Mensch (🧑) und Automationssystem (🤖)	12
Tabelle 2-2:	Exemplarische Auflistung von naturalistischen FFT	22
Tabelle 3-1:	Klassifizierung der Effektstärke nach Cohen (1988)	43
Tabelle 4-1:	Kurzzusammenfassung der untersuchten FFT	56
Tabelle 5-1:	Zusammenfassung der verwendeten Kennwerte in Abhängigkeit von den jeweils analysierten Konstrukten.	69
Tabelle 5-2:	LED-Lichtleiste (Projektion der Simulationsumgebung für die Aufnahmen deaktiviert)	74
Tabelle 5-3:	Detaillierung der Leithypothese LH1	88
Tabelle 5-4:	Detaillierung der Leithypothese LH2.1 bis LH2.3	88
Tabelle 5-5:	Detaillierung der Leithypothesen LH3.1 bis 3.2	89
Tabelle 5-6:	Detaillierung der Leithypothese LH4	89
Tabelle 5-7:	Übersicht der Ergebnisse <i>NASA-TLX – Gesamtscore (gewichtet)</i> in Punkten	90
Tabelle 5-8:	Übersicht der Ergebnisse <i>NASA-TLX – Geistige Anforderungen</i> in Punkten	92
Tabelle 5-9:	Übersicht der Ergebnisse <i>Lidschlussrate</i> in bpm	93
Tabelle 5-10:	Übersicht der Ergebnisse <i>Herzschlagrate</i> in bpm	94
Tabelle 5-11:	Übersicht der Ergebnisse <i>Herzfrequenzvariabilität</i> in ms	95
Tabelle 5-12:	Übersicht der Ergebnisse <i>Hautleitfähigkeit</i> in μS	96
Tabelle 5-13:	Übersicht der Ergebnisse <i>Antwortrate</i> beim visuellen Reiz-Reaktionszeittest in %	97
Tabelle 5-14:	Übersicht der Ergebnisse <i>Reaktionszeit</i> beim visuellen Reiz-Reaktionszeittest in ms	98
Tabelle 5-15:	Übersicht der Ergebnisse <i>Reaktionszeit</i> beim auditiven Reiz-Reaktionszeittest in ms	99
Tabelle 5-16:	Übersicht der Ergebnisse <i>Reaktionszeit</i> beim taktilen Reiz-Reaktionszeittest in ms	99
Tabelle 5-17:	Übersicht der Ergebnisse <i>Situationsbewusstsein ohne Vorwarnzeit</i> in %	102
Tabelle 5-18:	Übersicht der Ergebnisse <i>Situationsbewusstsein mit kurzer Vorwarnzeit</i> in %	103
Tabelle 5-19:	Übersicht der Ergebnisse <i>Situationsbewusstsein mit langer Vorwarnzeit</i> in %	104
Tabelle 5-20:	Übersicht der Situationsbewusstseinergebnisse – <i>Gesamt</i> in %	105
Tabelle 5-21:	Übersicht der Situationsbewusstseinergebnisse in % (Gemittelt über alle FFT)	106
Tabelle 5-22:	Übersicht der Ergebnisse <i>Erster Blick auf die Straße nach RÜA</i> in ms	107
Tabelle 5-23:	Übersicht der Ergebnisse <i>Minimale Rückübernahmezeit nach RÜA</i> in s	108
Tabelle 5-24:	Übersicht der Ergebnisse <i>Zeitlicher Verlauf zwischen Blickzuwendung und motorischem Eingreifen</i> in s	109

Tabelle 5-25:	Übersicht der Ergebnisse <i>TTC</i> in s	111
Tabelle 5-26:	Übersicht der Ergebnisse <i>TOC</i> in Punkten	111

Literaturverzeichnis

- Adams, M. J., Pew, R. W. & Tenney, Y. J. (1995). Situation Awareness and the Cognitive Management of Complex Systems. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37(1), 85–104.
- Barbé, J. & Stephane, L. (2009). Situation Awareness applied to Aeronautics and Automotive: Studies and Guidelines. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 63(1), 67–84.
- Barry, R. J., Clarke, A. R., McCarthy, R., Selikowitz, M. & Rushby, J. A. (2005). Arousal and Activation in a Continuous Performance Task. *Journal of Psychophysiology*, 19(2), 91–99.
- Bartels, A. & Ruchatz, T. (2015). Einführungsstrategie des Automatischen Fahrens. Rollout strategy of automated driving. *at - Automatisierungstechnik*, 63(3), 168–179.
- Bartels, A., To, T.-B., Karrenberg, S. & Weiser, A. (2011). Hochautomatisches Fahren auf der Autobahn. *ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift*, 113(9), 652–657.
- Beatty, J. (1982). Task-Evoked Pupillary Responses, Processing Load, and the Structure of Processing Resources. *Psychological Bulletin*, 91(2), 276–292.
- Bedny, G. & Meister, D. (1999). Theory of Activity and Situation Awareness. *International Journal of Cognitive Ergonomics*, 3(1), 63–72.
- Benedek, M. & Kaernbach, C. (2010). A continuous measure of phasic electrodermal activity. *Journal of neuroscience methods*, 190(1), 80–91.
- Bier, L. R. (2019). *Gamification zur Vorbeugung monotoniebedingter Müdigkeit bei der Fahrzeugführung- im Vergleich zur Fahrer-Beifahrerinteraktion*. Dissertation. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.
- Biever, W., Angell, L. & Seaman, S. (2019). Automated Driving System Collisions: Early Lessons. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, Special Issue on In-Vehicle Automation*, 1-11.
- Blalock, L. D., Sawyer, B. D., Kiken, A., Gutzwiller, R. S., McGill, C. L. & Clegg, B. A. (2014). Cognitive load while driving impairs memory of moving but not stationary elements within the environment. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 3(2), 95–100.
- Blanca, M. J., Alarcón, R., Arnau, J., Bono, R. & Bendayan, R. (2017). Non-normal data: Is ANOVA still a valid option? *Psicothema*, 29(4), 552–557.
- Blankenberger, S. & Vorberg, D. (1998). *Die Auswahl statistischer Tests und Maße*. Flussdiagramm. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg; Technischen Universität Braunschweig, Halle-Wittenberg, Braunschweig.

-
- BMVI. (2015). *Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren. Leitanbieter bleiben, Leitmarkt werden, Regelbetrieb einleiten* (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Hrsg.). Berlin: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI).
- Bolstad, C. A. (2001). Situation Awareness: Does it Change With Age? *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 45th Annual Meeting*, 45(4), 272–276.
- Boucsein, W. (2012). *Electrodermal Activity* (2. Aufl.). Boston: Springer Science+Business Media, LLC.
- Braess, H.-H. & Donges, E. (2006). *Technologien zur aktiven Sicherheit von Personenkraftwagen - "Konsumierbare" oder echte Verbesserungen? 2. Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz*. München.
- Breuer, B. (2012). *Bremsenhandbuch. Grundlagen, Komponenten, Systeme, Fahrdynamik* (ATZ-MTZ Fachbuch, 4. Aufl.). Wiesbaden: Vieweg.
- Broadbent, D. E. (1958). *Perception and Communication*. New York: Pergamon.
- Brookhuis, K. A. & DeWaard, D. (2001). Assessment of Drivers' Workload: Performance and Subjective and Physiological Indexes. In P. A. Hancock & P. A. Desmond (Hrsg.), *Stress, Workload, and Fatigue* (Human factors in transportation, S. 321–333). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Bruyas, M.-P. & Dumont, L. (2013). Sensitivity of detection response task (DRT) to the driving demand and task difficulty. In K. M. Holeton (Hrsg.), *Driving Assessment Conference. 7th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design*. Iowa City: University of Iowa.
- Bubb, H. (2002). Der Fahrprozess. Informationsverarbeitung durch den Fahrer. In VDA - Verband der Automobilindustrie (Hrsg.), *Tagungsband: Technischer Kongress 2002. Sicherheit durch Elektronik - Fahrzeugsicherheit, Elektronik* (S. 19–31). VDA - Verband der Automobilindustrie.
- Bubb, H. (2003). Wie viele Probanden braucht man für allgemeine Erkenntnisse aus Fahrversuchen? In K. Landau & H. Winner (Hrsg.), *Tagungsband: Fahrversuche mit Probanden - Nutzwert und Risiko. 1. Darmstädter Kolloquium* (S. 26–39). Düsseldorf: VDI Verlag.
- Bubb, H., Vollrath, M., Reinprecht, K., Mayer, E. & Körber, M. (2015). Der Mensch als Fahrer. In H. Bubb, K. Bengler, R. E. Grünen & M. Vollrath (Hrsg.), *Automobilergonomie* (ATZ / MTZ-Fachbuch, S. 68–162). Wiesbaden: Vieweg.
- Buld, S., Will, S., Kaussner, A. & Krüger, H.-P. (2014). *Entwicklung eines Verfahrens zur Erfassung der Fahrerbeanspruchung beim Motorradfahren* (Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen - Fahrzeugtechnik (F), 93. Aufl.). Bremerhafen: Wirtschaftsverlag NW.
- Burckhardt, M. (1985). *Reaktionszeiten bei Notbremsvorgängen* (Fahrzeugtechnische Schriftenreihe). Köln: Verlag TÜV Rheinland GmbH.
- Burg, H. & Arnold, J. (2009). Schienenfahrzeuge/Straßenbahnen. In H. Burg & A. Moser (Hrsg.), *Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion* (2. Aufl., S. 461–469). Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.

- Cacilo, A., Schmidt, S. & Wittlinger, P. (2015). *Hochautomatisiertes Fahren auf Autobahnen - industriepolitische Schlussfolgerungen. Dienstleistungsprojekt 15/14 : Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi)*. Fraunhofer IAO. Stuttgart: Fraunhofer IAO.
- Carsten, O., Lai, F. C. H., Barnard, Y., Jamson, A. H. & Merat, N. (2012). Control Task Substitution in Semiautomated Driving. Does It Matter What Aspects Are Automated? *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 54(5), 747–761.
- Charness, G., Gneezy, U. & Kuhn, M. A. (2012). Experimental methods: Between-subject and within-subject design. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 81(1), 1–8.
- Chase, C. (2014). U.S. State and Federal Laws Targeting Distracted Driving. Association for the Advancement of Automotive Medicine. Annual Scientific Conference. *Annals of advances in automotive medicine*, 58(1), 84–98.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2. Aufl.). Hillsdale: Erlbaum.
- Conti-Kufner, A. S. (2017). *Measuring cognitive task load: An evaluation of the Detection Response Task and its implications for driver distraction assessment*. Dissertation. Technische Universität München, München.
- Cramon, D. von. (1980). Die spontanen Lidbewegungen: Ein Spiegel psychomotorischer Aktivität. *Medizinische Psychologie*, 6(1), 123–139.
- Damböck, D. (2013). *Automationseffekte im Fahrzeug – von der Reaktion zur Übernahme*. Dissertation. Technische Universität München, München.
- Damböck, D., Farid, M., Tönert, L. & Bengler, K. (2012). Übernahmezeiten beim hochautomatisierten Fahren. *Tagung Fahrerassistenz*. München.
- Dennehy, K. (1997). *Cranfield – Situation Awareness Scale: User Manual*. COA report No. 9702. Applied Psychology Unit, College of Aeronautics, Cranfield University. Bedford, UK.
- Deutsch, J. A. & Deutsch, D. (1963). Attention. Some Theoretical considerations. *Psychological review*, 70(1), 80–90.
- Deutscher Verkehrssicherheitsrat. (2018). *Lexikon automatisiertes Fahren* (Deutscher Verkehrssicherheitsrat e.V., Hrsg.). Bonn.
- DeWaard, D. (1996). *The Measurement of Drivers' Mental Workload*. Dissertation. Universiteit Groningen, Groningen.
- DIN ISO 10075-1. (2017). *Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung - Teil 1: Allgemeine Aspekte und Konzepte und Begriffe*. Berlin: Beuth.
- DIN ISO 17488. (2016). *Straßenfahrzeuge - Fahrerinformationen und Assistenzsysteme - Erkennungsreaktionsaufgabe (DRT) für den Zugriff beabsichtigter Effekte von kognitiver Belastungen während der Fahrt*. Berlin: Beuth.

-
- DIN ISO/TS 14198. (2019). *Straßenfahrzeuge - Ergonomische Aspekte von Fahrerinformations- und Assistenzsystemen - Kalibrierungsaufgaben für Methoden, welche auf Fahreranfragen zugreifen, um fahrzeuginterne Systeme zu verwenden*. Berlin: Beuth.
- Dingus, T. A., Klauer, S. G., Neale, V. L., Petersen, A., Lee, S. E., Sudweeks, J. et al. (2006). *The 100-car naturalistic driving study, Phase II-results of the 100-car field experiment* (Technical Report No DOT HS 810 593). Washington DC: NHTSA: National Highway Traffic Safety Administration und Virginia Department of Transportation.
- Dixon, W. J. & Yuen, K. K. (1974). Trimming and Winsorization: A Review. *Statistische Hefte*, 15(2-3), 157–170.
- Dominguez, C. (1994). Can SA be defined? In M. A. Vidulich, C. Dominguez, E. Vogel & G. R. McMillan (Hrsg.), *Situations Awareness: Papers and Annotated Bibliography. Report AL/CF-TR-1994-0085* (S. 5–16). Ohio: Air Force Systems Command.
- Donges, E. (1982). Aspekte der aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen. *AUTOMOB-IND*, 27(2).
- Donges, E. (1999). A Conceptual Framework for Active Safety in Road Traffic. *Vehicle System Dynamics*, 32(2&3), 113–128.
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (Springer-Lehrbuch, 5. Aufl.). Berlin: Springer.
- Drucksache 18/8951. (2016). *Beschlussempfehlung und Bericht des Ausschusses für Verkehr und digitale Infrastruktur (15. Ausschuss)* (Bundesanzeiger Verlag GmbH, Hrsg.). Deutscher Bundestag / Verkehr und digitale Infrastruktur.
- Duller, C. (2019). *Einführung in die Statistik mit EXCEL und SPSS* (Springer-Lehrbuch, 4. Aufl.). Berlin: Springer Berlin Heidelberg.
- Durso, F. T., Bleckley, M. K. & Dattel, A. R. (2006). Does Situation Awareness Add to the Validity of Cognitive Tests? *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 48(4), 721–733.
- Durso, F. T. & Gronlund, S. (2008). Situation Awareness. In F. T. Durso & R. S. Nickerson (Hrsg.), *Handbook of Applied Cognition* (2. Aufl.). Chichester: Wiley-Interscience.
- Endsley, M. R. (1988a). Design and Evaluation for Situation Awareness Enhancement. *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting*, 32(2), 97–101.
- Endsley, M. R. (1988b). Situation Awareness Global Assessment Technique (SAGAT). In *Proceedings of the IEEE 1988 National Aerospace and Electronics Conference* (S. 789–795). Piscataway, NJ: IEEE.
- Endsley, M. R. (1995). Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37(1), 32–64.

- Endsley, M. R. (2000a). Direct Measurement of Situation Awareness: Validity and Use of SAGAT. In M. R. Endsley & D. J. Garland (Hrsg.), *Situation Awareness Analysis and Measurement* (S. 147–174). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Endsley, M. R. (2000b). Theoretical Underpinnings Of Situation Awareness: A Critical Review. In M. R. Endsley & D. J. Garland (Hrsg.), *Situation Awareness Analysis and Measurement* (S. 3–33). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Endsley, M. R. & Jones, D. G. (1996). Sources of Situation Awareness Errors in Aviation. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 67(6), 507–512.
- Engström, J., Johansson, E. & Östlund, J. (2005). Effects of visual and cognitive load in real and simulated motorway driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 8(2), 97–120.
- Eriksson, A. & Stanton, N. A. (2017). Takeover Time in Highly Automated Vehicles: Noncritical Transitions to and From Manual Control. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 59(4), 689–705.
- ERTRAC. (2019). *Connected Automated Driving Roadmap*. Brüssel: ERTRAC. Verfügbar unter <https://www.ertrac.org/uploads/documentsearch/id57/ERTRAC-CAD-Roadmap-2019.pdf>
- Esco, M. R. & Flatt, A. A. (2014). Ultra-Short-Term Heart Rate Variability Indexes at Rest and Post-Exercise in Athletes: Evaluating the Agreement with Accepted Recommendations. *Journal of Sports Science and Medicine*, 13(3), 535.
- Estes, S. (2015). The workload curve: Subjective mental workload. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 57(7), 1174–1187.
- European Commission (European Commission, Hrsg.). (2015). *Driver Distraction*, Directorate General for Transport.
- Faber, S. (1979). *Hautleitfähigkeitsuntersuchungen als Methode in der Arbeitswissenschaft*. Dissertation. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.
- Farmer, E. & Brownson, A. (2003). *Review of Workload Measurement, Analysis and Interpretation Methods*. European Organisation for the Safety of Air Navigation. CARE-Integra-TRS-130-02-WP2.
- Fastenmeier, W. (Hrsg.). (1995). *Autofahrer und Verkehrssituation. Neue Wege zur Bewertung von Sicherheit und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrssysteme* (Mensch - Fahrzeug - Umwelt, Bd. 33). Köln: TÜV Rheinland.
- Feldhütter, A., Gold, C., Schnieder, S. & Bengler, K. (2017). How the Duration of Automated Driving Influences Take-Over Performance and Gaze Behavior. In C. Schlick, S. Duckwitz, F. Flemisch, M. Frenz, S. Kuz, A. Mertens et al. (Hrsg.), *Advances in Ergonomic Design of Systems, Products and Processes* (S. 309–318). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

- Flemisch, F., Kelsch, J., Löper, C., Schieben, A. & Schindler, J. (2008). Automation spectrum, inner / outer compatibility and other potentially useful human factors concepts for assistance and automation. In D. DeWaard, F. Flemisch, B. Lorenz, H. Oberheid & K. Brookhuis (Hrsg.), *Human Factors for Assistance and Automation* (S. 1–16). Maastricht, Niederlande: Shaker Publishing B.V.
- Fraedrich, E., Cyganski, R., Wolf, I. & Lenz, B. (2016). *Technical Report: User Perspectives on Autonomous Driving. A Use-Case-Driven Study in Germany*. Arbeitsbericht. Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin.
- Franz, B. (2014). *Entwicklung und Evaluation eines Interaktionskonzepts zur manöverbasierten Führung von Fahrzeugen*. Dissertation. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.
- Franz, B., Haccius, J. P., Stelzig-Krombholz, D., Pfromm, M., Kauer, M. & Abendroth, B. (2015). Evaluation of the SAGAT method for highly automated driving. In International Ergonomics Association (Hrsg.), *The Proceedings of the IEA Congress 2015*. Melbourne.
- Fu, R., Guo, Y., Yang, C., Yuan, W., Ma, Y., Peng, J. et al. (2011). *Research on heart rate and eye movement as indicators of drivers' mental workload* (3rd International Conference on Road Safety and Simulation). Washington DC: Transportation Research Board.
- Galy, E., Paxion, J. & Berthelon, C. (2018). Measuring mental workload with the NASA-TLX needs to examine each dimension rather than relying on the global score: an example with driving. *Ergonomics*, 61(4), 517–527.
- Gasser, T. M. (2015). Die Veränderung der Fahraufgabe durch Fahrerassistenzsysteme und kontinuierlich wirkende Fahrzeugautomatisierung. *DAR*, (1), 6–12.
- Gasser, T. M., Arzt, C., Ayoubi, M., Bartels, A., Eier, J., Flemsich, F. et al. (2012). *Ergebnisse der Projektgruppe Automatisierung: Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung* (Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Hrsg.) (BASt-Bericht F83).
- Gasser, T. M., Seeck, A. & Smith, B. W. (2015). Rahmenbedingungen für die Fahrerassistenzentwicklung. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort* (ATZ/MTZ-Fachbuch, 3. Aufl., S. 27–54). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Gawron, V. J. (2008). *Human Performance, Workload, and Situational Awareness Measures Handbook* (2. Aufl.). Boca Raton: CRC Press.
- Gershon, P., Ronen, A., Oron-Gilad, T. & Shinar, D. (2009). The effects of an interactive cognitive task (ICT) in suppressing fatigue symptoms in driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 12(1), 21–28.
- Girden, E. R. (1992). *ANOVA: Repeated measures* (Quantitative Applications in the Social Sciences, Bd. 84, 1. Aufl.). Thousand Oaks: SAGE Publications Inc.

-
- Godley, S. T., Triggs, T. J. & Fildes, B. N. (2002). Driving simulator validation for speed research. *Accident Analysis & Prevention*, 34(5), 589–600.
- Gold, C. (2016). *Modeling of take-over performance in highly automated vehicle guidance*. Dissertation. Technische Universität München, München.
- Gold, C. & Bengler, K. (2014). Taking Over Control from Highly Automated Vehicles. *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting*, 8(64), 64–69.
- Gold, C., Berisha, I. & Bengler, K. (2015). Utilization of Drivetime – Performing Non-Driving Related Tasks While Driving Highly Automated. *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting*, 59(1), 1666–1670.
- Gold, C., Damböck, D., Lorenz, L. & Bengler, K. (2013). Take over! How long does it take to get the driver back into the loop? *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting*, 57(1), 1938–1942.
- Gold, C., Happee, R. & Bengler, K. (2018). Modeling take-over performance in level 3 conditionally automated vehicles. *Accident Analysis & Prevention*, 116, 3–13.
- Gold, C., Körber, M., Lechner, D. & Bengler, K. (2016). Taking Over Control From Highly Automated Vehicles in Complex Traffic Situations: The Role of Traffic Density. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 58(4), 642–652.
- Grier, R. A. (2015). How High is High? A Meta-Analysis of NASA-TLX Global Workload Scores. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 59(1), 1727–1731.
- Gründl, M. (2005). *Fehler und Fehlverhalten als Ursache von Verkehrsunfällen und Konsequenzen für das Unfallvermeidungspotenzial und die Gestaltung von Fahrerassistenzsystemen*. Dissertation. Universität Regensburg, Regensburg.
- Gugerty, L. J. (1997). Situation awareness during driving: Explicit and implicit knowledge in dynamic spatial memory. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 3(1), 42–66.
- Gunning, D. (1978). Time Estimation as a Technique to Measure Workload. *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting*, 22(1), 41–45.
- Hackenfort, M. (2012). *Unaufmerksamkeit & Ablenkung. Literaturreview im Auftrag des Schweizerischen Versicherungsverbandes (ZHAW Zürcher Hochschule, Hrsg.)*. Zürich.
- Hancock, P. A. & Smith, K. (1995). Situation Awareness Is Adaptive, Externally Directed Consciousness. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37(1), 137–148.
- Hart, S. G. & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. *Advances in Psychology*, 52, 139–183.
- Hellbrück, J. & Ellermeier, W. (2004). *Hören. Physiologie, Psychologie und Pathologie* (2. Aufl.). Göttingen: Hogrefe.

-
- Hering, K. (1999). *Situationsabhängiges Verfahren zur standardisierten Messung der kognitiven Beanspruchung im Straßenverkehr. Literaturübersicht und empirische Felduntersuchung*. Dissertation. Universität zu Köln, Köln.
- Herrmann, F., Duwe, D., Schmidt, A., Stegmüller, S., Gaydoul, R., Peters, P. L. et al. (2016). *The Value of Time. Nutzerbezogene Service-Potenziale durch autonomes Fahren* (Fraunhofer IAO, Hrsg.). Stuttgart.
- Houck, M. & Waag, W. (1994). Tools for Assessing Situational Awareness in an Operational Fighter Environment. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 65(5), 13-19.
- Huemer, A. K. & Vollrath, M. (2011). Driver secondary tasks in Germany: using interviews to estimate prevalence. *Accident Analysis & Prevention*, 43(5), 1703–1712.
- Huemer, A. K. & Vollrath, M. (2012). *Ablenkung durch fahrfremde Tätigkeiten – Machbarkeitsstudie (M225)*. Braunschweig: Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt).
- Hussy, W., Schreier, M. & Echterhoff, G. (2013). *Forschungsmethoden in Psychologie und Sozialwissenschaften für Bachelor* (Springer-Lehrbuch, 2. Aufl.). Berlin: Springer.
- Jamson, A. H., Merat, N., Carsten, O. M.J. & Lai, F. C.H. (2013). Behavioural changes in drivers experiencing highly-automated vehicle control in varying traffic conditions. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 30, 116–125.
- Jarosch, O., Kuhnt, M., Paradies, S. & Bengler, K. (2017). It's out of our hands now! Effects of non-driving related tasks during highly automated driving on driver's fatigue. In K. M. Holton (Hrsg.), *Driving Assessment Conference. 9th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design* (S. 319–325). Iowa City: University of Iowa.
- Kaber, D.B. & Ma, R. (2005). Situation awareness and workload in driving while using adaptive cruise control and a cell phone. *Industrial Ergonomics*, 35(10), 939–953.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort* (Prentice-Hall series in experimental psychology). Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Kirchner, W. K. (1958). Age differences in short-term retention of rapidly changing information. *Journal of Experimental Psychology*, 55(4), 352–358.
- Klauer, S. G., Neale, V. L., Dingus, T. A., Ramsey, D. & Sudweeks, J. (2005). Driver Inattention: A Contributing Factor to Crashes and Near-Crashes. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 49(22), 1922–1926.
- Kokar, M. M. & Endsley, M. R. (2012). Situation Awareness and Cognitive Modeling. *IEEE Intelligent Systems*, 27(3), 91–96.
- Kollosche, I. & Schwedes, O. (2016). *Mobilität im Wandel. Transformationen und Entwicklungen im Personenverkehr* (Friedrich-Ebert-Stiftung - Abteilung Wirtschafts- und Sozialpolitik, Hrsg.) (14). Bonn.

-
- Kompass, K. (2015). *Fahrassistenz und Automatisierung. Technische Möglichkeiten (und Grenzen) zur Reduzierung von Verkehrsunfällen*. Deutscher Verkehrssicherheitsrat.
- Körber, M., Cingel, A., Zimmermann, M. & Bengler, K. (2015). Vigilance Decrement and Passive Fatigue Caused by Monotony in Automated Driving. *Procedia Manufacturing*, 3, 2403–2409.
- Körber, M., Gold, C., Lechner, D. & Bengler, K. (2016). The influence of age on the take-over of vehicle control in highly automated driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 39, 19–32.
- Kramer, A. (1991). Physiological Metrics of Mental Workload: A Review of Recent Progress. In D. L. Damos (Hrsg.), *Multiple task performance* (S. 279–328). London: Taylor & Francis.
- Krause, M. F. (2017). *Modeling Driver Distraction*. Dissertation. Technische Universität München, München.
- Krause, M. F., Conti, A., Späth, M. & Bengler, K. (2014). Testing Open-Source Implementations for Detection Response Tasks. In C. S. Gonzalez, C. C. Ordonez & H. M. Fardoum (Hrsg.), *Interacción '14: Proceedings of the XV International Conference on Human Computer Interaction*. New York: ACM.
- Kun, A. L., Boll, S. & Schmidt, A. (2016). Shifting Gears: User Interfaces in the Age of Autonomous Driving. *IEEE Pervasive Computing*, 15(1), 32–38.
- Kyriakidis, M., Happee, R. & Winter, J. de. (2015). Public opinion on automated driving. Results of an international questionnaire among 5000 respondents. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 32, 127–140.
- Laborde, S., Mosley, E. & Thayer, J. F. (2017). Heart Rate Variability and Cardiac Vagal Tone in Psychophysiological Research - Recommendations for Experiment Planning, Data Analysis, and Data Reporting. *Frontiers in psychology*, 8, 213.
- Landau, K. (2005). *LexAB – Kleines Lexikon arbeitswissenschaftlicher Begriffe*. Stuttgart: Ergonomia Verlag.
- Landau, K. & Rohmert, W. (1987). Ermittlung von Belastungssuperpositionen mit dem Arbeitswissenschaftlichen Erhebungsverfahren zur Tätigkeitsanalyse. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 41(1), 23–32.
- Laurig, W. (1992). *Grundzüge der Ergonomie* (4. Aufl.). Berlin, Köln: Beuth.
- Lee, J., Young, K. & Regan, M. (2009). Defining Driver Distraction. In M. Regan, J. Lee & K. Young (Hrsg.), *Driver Distraction. Theory, Effects, and Mitigation* (S. 31–40). Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Lehmann, D. (1994). Gedächtnis-Das Universum im Kopf. *GEO Magazin*, (12), 12–34.
- Lemmer, K. (2014). *Einführungsvortrag "Autonomes Fahren"*. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

- Llaneras, R. E., Salinger, J. & Green, C. A. (2013). Human Factors Issues Associated with Limited Ability Autonomous Driving Systems: Drivers' Allocation of Visual Attention to the Forward Roadway. In K. M. Holeton (Hrsg.), *Driving Assessment Conference. 7th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design* (S. 92–98). Iowa City: University of Iowa.
- Loft, S., Bowden, V., Braithwaite, J., Morrell, D. B., Huf, S. & Durso, F. T. (2015). Situation Awareness Measures for Simulated Submarine Track Management. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 57(2), 298–310.
- Lorenz, L., Kerschbaum, P. & Schumann, J. (2014). Designing take over scenarios for automated driving. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 58(1), 1681–1685.
- Louw, T., Merat, N. & Jamson, H. (2015). Engaging With Highly Automated Driving: To Be Or Not To Be In The Loop? In K. M. Holeton (Hrsg.), *Driving Assessment Conference. 8th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*. Iowa City: University of Iowa.
- Lu, Z., Coster, X. & Winter, J. de. (2017). How much time do drivers need to obtain situation awareness? A laboratory-based study of automated driving. *Applied ergonomics*, 60, 293–304.
- Luczak, H. (1975). *Untersuchungen informatorischer Belastung und Beanspruchung des Menschen* (Fortschritt-Berichte VDI). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Lykken, D. T. & Venables, P. H. (1971). Direct Measurement Of Skin Conductance: A Proposal For Standardization. *Psychophysiology*, 8(5), 656–672.
- Malik, M. (1996). Heart Rate Variability. *European Heart Journal*, 17(3), 354–381.
- Mantzke, O. & Keinath, A. (2015). Relating the Detection Response Task to Critical Events – Consequences of high Cognitive Workload to Brake Reaction Times. *Procedia Manufacturing*, 3, 2381–2386.
- Manzey, D. (1998). Psychophysiologie mentaler Beanspruchung. In F. Rösler (Hrsg.), *Ergebnisse und Anwendungen der Psychophysiologie* (1. Aufl., S. 799–864). Göttingen: Hogrefe.
- Martin, M., Diederichs, F., Li, K., Voit, M., Melcher, V., Widlroither, H. et al. (2016). Klassifikation von Fahrerzuständen und Nebentätigkeiten über Körperposen bei automatisierter Fahrt. In VDI (Hrsg.), 32. *VDI/VW Gemeinschaftstagung "Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren 2016"* (Bd. 2288). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Mauchly, J. W. (1940). Significance test for sphericity of n-variate normal population. *Annals of Mathematical Statistics*, 11(2), 204–209.
- Mehler, B., Reimer, B. & Wang, Y. (2011). A Comparison of Heart Rate and Heart Rate Variability Indices in Distinguishing Single-Task Driving and Driving Under Secondary Cognitive Workload. In

-
- K. M. Holeton (Hrsg.), *Driving Assessment Conference. 6th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design* (S. 590–597). Iowa City: University of Iowa.
- Meinold, P. E. (2005). *Psychologie des Lidschlags. Eine literatur- und methodenkritische Studie*. Dissertation. Universität zu Köln, Köln.
- Miller, S. (2001). *Workload Measures. Literature Review* (University of Iowa, Hrsg.). Iowa City.
- Mogford, R. H. (1997). Mental Models and Situation Awareness in Air Traffic Control. *The International Journal of Aviation Psychology*, 7(4), 331–341.
- Moosbrugger, H. (2012). *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (Springer-Lehrbuch, 2. Aufl.). Berlin: Springer.
- Mulder, G. & Mulder-Hajonides, W. R. (1973). Mental Load and the Measurement of Heart Rate Variability. *Ergonomics*, 16(1), 69–83.
- Müller, A. L. (2019). Beanspruchungsmessmethoden für fahrfremde Tätigkeiten bei hochautomatisierter Fahrt. In Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.), *Frühjahrskonferenz 2019. Arbeit interdisziplinär analysieren – bewerten – gestalten* (D.1.6 1–6). Dortmund: GfA-Press.
- Müller, A. L. & Abendroth, B. (2018). Systematisierungsentwurf für fahrfremde Tätigkeiten bei hochautomatisierter Fahrt. In TeaP 2018 (Hrsg.), *60th Conference of Experimental Psychologists* (1. Aufl., S. 179). Lengerich: Pabst Science Publishers.
- Müller, A. L., Ogrizek, M., Bier, L. R. & Abendroth, B. (2018). Design concept for a tactile and visual take-over request in a conditional automated vehicle during non-driving-related tasks. In *Driver Distraction and Inattention* (Hrsg.), *Proceedings: 6th International Conference On Driver Distraction And Inattention*. Gothenburg, Sweden.
- Munoz, M. L., van Roon, A., Riese, H., Thio, C., Oostenbroek, E., Westrik, I. et al. (2015). Validity of (Ultra-)Short Recordings for Heart Rate Variability Measurements. *PLoS One*, 10(9), 1-15.
- Myles, K. & Binseel, M. S. (2007). *The Tactile Modality. A Review of Tactile Sensitivity and Human Tactile Interfaces* (ARL-TR-4115). Human Research and Engineering.
- Naujoks, F., Befelein, D. & Neukum, A. (2016). Welche Aspekte fahrfremder Tätigkeiten schränken die Übernahmefähigkeit beim hochautomatisierten Fahren ein? In VDI (Hrsg.), 32. *VDI/VW Gemeinschaftstagung "Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren 2016"* (Bd. 2288). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Naujoks, F., Befelein, D., Wiedemann, K. & Neukum, A. (2018). A Review of Non-driving-related Tasks Used in Studies on Automated Driving. In N. A. Stanton (Hrsg.), *Advances in human aspects of transportation. Proceedings of the AHFE 2017 International Conference on Human Factors in Transportation, Los Angeles, California, USA* (Advances in Intelligent Systems and Computing, Bd. 597, S. 525–537). Cham: Springer.

- Naujoks, F., Mai, C. & Neukum, A. (2014). The Effect of Urgency of Take-Over Requests During Highly Automated Driving Under Distraction Conditions. In R.-L. Jang & T. Ahram (Hrsg.), *Advances in Physical Ergonomics and Human Factors: Part II. 5th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics* (S. 1–8). Louisville, Ky: AHFE Conference.
- Naujoks, F., Wiedemann, K., Schömig, N., Jarosch, O. & Gold, C. (2018). Expert-based controllability assessment of control transitions from automated to manual driving. *MethodsX*, 5, 579–592.
- Neubauer, C., Matthews, G. & Saxby, D. (2012). The Effects of Cell Phone Use and Automation on Driver Performance and Subjective State in Simulated Driving. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 56(1), 1987–1991.
- NHTSA. (2013). *Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles* (U.S. Department of Transportation, Hrsg.). Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.
- Norman, D. A. & Bobrow, D. G. (1975). On Data-limited and Resource-limited Processes. *Cognitive Psychology*, 7(1), 44–64.
- O'Donnell, R. D. & Eggemeier, F. T. (1986). Workload Assessment Methodology. In K. R. Boff, L. Kaufman & J. P. Thomas (Hrsg.), *Handbook of Perception and Human Performance* (2. Aufl., S. 1–49). Oxford: John Wiley & Sons.
- Othersen, I., Petermann-Stock, I., Schoemig, N. & Fuest, T. (2017). Methoden und Wechselwirkung Kognitive Übernahmefähigkeit nach einer pilotierten Fahrt. *ATZechnik*, 12(1), 26–31.
- Otzenberger, H., Gronfier, C., Simon, C., Charloux, A., Ehrhart, J., Piquard, F. et al. (1998). Dynamic heart rate variability: a tool for exploring sympathovagal balance continuously during sleep in men. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 275(3), 946–950.
- Packebusch, L. (2003). Psychische Belastung und Beanspruchung–Normung für die Praxis. *Wirtschaftspsychologie aktuell*, 3(4), 32–36.
- Parasuraman, R., Sheridan, T. B. & Wickens, C. D. (2008). Situation Awareness, Mental Workload, and Trust in Automation: Viable, Empirically Supported Cognitive Engineering Constructs. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 2(2), 140–160.
- Parkes, A., Hooijmeijer, V., Diepens, V. & Okkema, E. (2001). *The influence of the use of mobile phones on driver situation awareness*. Zugriff am 03.03.2020. Verfügbar unter <https://www.semanticscholar.org/paper/THE-INFLUENCE-OF-THE-USE-OF-MOBILE-PHONES-ON-DRIVER-Parkes-Hooijmeijer/5f454389e1a209eccf24baa53bddaf1ebbc15b1>
- Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: data and theory. *Psychological Bulletin*, 116(2), 220–244.
- Petermann-Stock, I., Hackenberg, L., Muhr, T. & Mergl, C. (2013). Wie lange braucht der Fahrer? Eine Analyse zu Übernahmezeiten aus verschiedenen Nebentätigkeiten ährend einer hochautomatisierten

- Staufahrt. In TÜV SÜD (Hrsg.), *Der Weg zum automatischen Fahren. 6. Tagung Fahrerassistenz* (S. 1–26).
- Petermeijer, S., Cieler, S. & Winter, J. de. (2017). Comparing spatially static and dynamic vibrotactile take-over requests in the driver seat. *Accident Analysis and Prevention*, 99, 218–227.
- Petermeijer, S., Winter, J. de & Bengler, K. (2016). Vibrotactile Displays. A Survey With a View on Highly Automated Driving. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(4), 897–907.
- Pettitt, M., Burnett, G. E. & Stevens, A. (2005). Defining Driver Distraction. In Intelligent Transportation Society (Hrsg.), *World Congress on Intelligent Transport Systems* (S. 1–12). New York: IEEE.
- Pfleging, B. (2015). (Non-) Driving-Related Activities in the Car: Defining Driver Activities for Manual and Automated Driving. In B. Begole & J. Kim (Hrsg.), *Workshop on Experiencing Autonomous Vehicles: Crossing the Boundaries between a Drive and a Ride* (S. 1–4).
- Pfleging, B., Rang, M. & Broy, N. (2016). Investigating user needs for non-driving-related activities during automated driving. In J. Häkkilä & T. Ojala (Hrsg.), *Proceedings of the 15th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia - MUM '16* (S. 91–99). New York, New York, USA: ACM Press.
- Pfromm, M., Cieler, S. & Bruder, R. (2013). Driver assistance via optical information with spatial reference. In *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)* (S. 2006–2011). Piscataway, NJ: IEEE.
- Radlmayr, J. & Bengler, K. (2015). *Literaturanalyse und Methodenauswahl zur Gestaltung von Systemen zum hochautomatisierten Fahren. Literature Survey and Description of Methods for the Development of Highly Automated Driving* (Verband der Automobilindustrie e. V., Hrsg.) (FAT-Schriftenreihe 276). Berlin: FAT - Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V.
- Radlmayr, J., Fischer, F. M. & Bengler, K. (2019). The Influence of Non-driving Related Tasks on Driver Availability in the Context of Conditionally Automated Driving. In S. Bagnara, R. Tartaglia, S. Albolino, T. Alexander & Y. Fujita (Hrsg.), *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)* (Advances in Intelligent Systems and Computing, Bd. 823, S. 295–304). Basel: Springer International Publishing.
- Radlmayr, J., Gold, C., Lorenz, L., Farid, M. & Bengler, K. (2014). How Traffic Situations and Non-Driving Related Tasks Affect the Take-Over Quality in Highly Automated Driving. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 58(1), 2063–2067.
- Rasmussen, J. (1983). Skills, Rules, and Knowledge; Signals, Signs, and Symbols, and Other Distinctions in Human Performance Models. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, (3), 257–266.

-
- Rauch, N. (2009). *Ein verhaltensbasiertes Messmodell zur Erfassung von Situationsbewusstsein im Fahrkontext*. Dissertatoin. Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Würzburg.
- Rauch, N., Gradenegger, B. & Krüger, H.-P. (2008). Die SAGAT-Methode zur Erfassung von Situationsbewusstsein im Fahrkontext. In J. Schade & A. Engeln (Hrsg.), *Fortschritte der Verkehrspsychologie: Beiträge vom 45. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie* (1. Aufl., S. 197–214). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Razali, N. M. & Wah, Y. B. (2011). Power Comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling Tests. *Journal of statistical modeling and analytics*, 2(1), 21–33.
- Regan, M., Hallett, C. & Gordon, C. P. (2011). Driver distraction and driver inattention: Definition, relationship and taxonomy. *Accident Analysis and Prevention*, 43(5), 1771–1781.
- Reid, G. B. & Nygren, T. E. (1988). The Subjective Workload Assessment Technique. A Scaling Procedure for Measuring Mental Workload. In N. Meshkati & P. A. Hancock (Hrsg.), *Human Mental Workload* (Advances in Psychology, Bd. 52, S. 185–218). Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland).
- Ribback, S. (2003). *Psychophysiologische Untersuchung mentaler Beanspruchung in simulierten Mensch-Maschine-Interaktionen*. Dissertation. Universität Potsdam, Potsdam.
- Rigas, G., Katsis, C. D., Bougia, P. & Fotiadis, D. I. (2008). A reasoning-based framework for car driver's stress prediction. In D. Maquin (Hrsg.), *16th Mediterranean Conference on Control and Automation* (S. 627–632). Piscataway: IEEE Service Center.
- Rogers, M., Zhang, Y., Kaber, D., Liang, Y. & Gangakhedkar, S. (2011). The Effects of Visual and Cognitive Distraction on Driver Situation Awareness. In D. Harris (Hrsg.), *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics* (Lecture Notes in Computer Science, 1. Aufl., Bd. 6781, S. 186–195). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Rohmert, W. (1984). Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 38(4), 193–200.
- Rohrmann, B. (1978). Empirische Studien zur Entwicklung von Antwortskalen für die sozialwissenschaftliche Forschung. *Zeitschrift für Sozialpsychologie*, 9(3), 222–245.
- Rubio, S., Diaz, E., Martin, J. & Puente, J. M. (2004). Evaluation of Subjective Mental Workload: A Comparison of SWAT, NASA-TLX, and Workload Profile Methods. *Applied Psychology*, 53(1), 61–86.
- SAE. (2016). *NHTSA Adopts SAE International Standard Defining Autonomous Vehicles*. Society of Automotive Engineers.
- SAE. (2018). *J3016 Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles* (4 Aufl.). Society of Automotive Engineers.

-
- Salmon, P. M., Stanton, N. A., Walker, G. H., Jenkins, D., Ladva, D., Rafferty, L. et al. (2009). Measuring Situation Awareness in complex systems: Comparison of measures study. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39(3), 490–500.
- Sammito, S. & Böckelmann, I. (2015). Analyse der Herzfrequenzvariabilität. *Herz*, 40(1), 76–84.
- Sanders, A. F. (1983). Towards a Model of Stress and Human Performance. *Acta Psychologica*, 53(1), 61–97.
- Sarter, N. B. & Woods, D. D. (1991). Situation Awareness: A Critical But Ill-Defined Phenomenon. *The International Journal of Aviation Psychology*, 1(1), 45–57.
- Schandry, R. (2016). *Biologische Psychologie* (4.). Weinheim: Beltz.
- Schlick, C., Bruder, R. & Luczak, H. (2018). *Arbeitswissenschaft* (4. Aufl.). Berlin: Springer Vieweg.
- Schmidt. (2008). *Tipps und Tricks für den Augenarzt: Problemlösungen von A-Z*: Springer-Verlag.
- Schneider, M. (2017). *Blickbasierte Beanspruchungsmessung. Entwicklung und Evaluation eines Kalibrierungssystems zur individuellen Bewertung der mentalen Beanspruchung in der Mensch-Technik-Interaktion*. Dissertation. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.
- Schoettle, B. & Sivak, M. (2014). *Public opinion about self-driving vehicles in China, India, Japan, the U.S., the U.K., and Australia* (University of Michigan Transportation Research Institute, Hrsg.) (UMTRI-2014-30). Michigan.
- Schönpflug, W. & Schönpflug, U. (1997). *Psychologie. Allgemeine Psychologie und ihre Verzweigungen in die Entwicklungs-, Persönlichkeits- und Sozialpsychologie* (Psychologie Lehrbuch, 4. Aufl.). Weinheim: Beltz.
- Schröder, M. & Meister, M. (1994). Toxin-Lebensmittelgift. *GEO Magazin*, (2), 104–122.
- Schwalm, M. (2009). *Pupillometrie als Methode zur Erfassung mentaler Beanspruchungen im automotiven Kontext*. Dissertation. Universität Saarlandes, Saarbrücken.
- Seeck, A., Gasser, T. M. & Auerswald, R. (2017). Übergreifender Definitionsansatz für die Fahrzeugautomatisierung. In H. Winner & R. Bruder (Hrsg.), *(Wie) wollen wir automatisiert fahren? 8. Darmstädter Kolloquium (mensch+fahrzeug, Bd. 8, S. 65–76)*. Darmstadt: TU prints.
- Shen, S. & Neyens, D. M. (2014). Assessing drivers' performance when automated driver support systems fail with different levels of automation. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 58(1), 2068–2072.
- Sommer, K. (2013). *Continental Mobilitätsstudie 2013*. Continental AG.
- Spick, M. (1988). *The Ace Factor: Air Combat and the Role of Situational Awareness*. Annapolis: Naval Institute Press.
- Spiessl, W. & Hussmann, H. (2011). Assessing error recognition in automated driving. *IET Intelligent Transport Systems*, 5(2), 103.

-
- Stanton, N. A., Chambers, P.R.G. & Piggott, J. (2001). Situational awareness and safety. *Safety Science*, 39(3), 189–204.
- Stanton, N. A. & Young, M. S. (2000). A proposed psychological model of driving automation. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 1(4), 315–331.
- Stapelkamp, T. (2007). *Screen- und Interfacedesign*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Statistisches Bundesamt (Statistisches Bundesamt, Hrsg.). (2018). *Unfallentwicklung auf deutschen Strassen 2017. Begleitmaterial zur Pressekonferenz am 12. Juli 2018 in Berlin*.
- Statistisches Bundesamt (Statistisches Bundesamt, Hrsg.). (2019). *Pressemitteilung Nr. 069 vom 27. Februar 2019*.
- Stern, J. A. & Skelly, J. J. (1984). The Eye Blink and Workload Considerations. *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting*, 28(11), 942–944.
- Stojmenova, K. & Sodnik, J. (2018). Validation of Auditory Detection-Response Task Method for Assessing the Attentional Effects of Cognitive Load. *Traffic Injury Prevention*, 19(5), 495–500.
- Strayer, D. L., Cooper, J. M. & Drews, F. A. (2004). What do Drivers Fail to See When Conversing on a Cell Phone? *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 48(19), 2213–2217.
- Strayer, D. L. & Fisher, D. L. (2016). SPIDER: A Framework for Understanding Driver Distraction. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 58(1), 5–12.
- Stutts, J., Feaganes, J., Reinfurt, D., Rodgman, E., Hamlett, C., Gish, K. et al. (2005). Driver's exposure to distractions in their natural driving environment. *Accident Analysis & Prevention*, 37(6), 1093–1101.
- Stutts, J., Reinfurt, D., Staplin, L. & Rodgman, E. (2001). *The role of driver distraction in traffic crashes* (AAA Foundation for Traffic Safety, Hrsg.). Washington DC.
- Summala, H. (2000). Brake Reaction Times and Driver Behavior Analysis. *Transportation Human Factors*, 2(3), 217–226.
- Tarvainen, M. P., Niskanen, J.-P., Lipponen, J. A., Ranta-Aho, P. O. & Karjalainen, P. A. (2014). Kubios HRV – Heart rate variability analysis software. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 113(1), 210–220.
- Taylor, R. M. (1990). Situational Awareness Rating Technique (Sart): The Development of a Tool for Aircrew Systems Design. *Proceedings of the AGARD AMP Symposium on Situational Awareness in Aerospace Operations*, CP478, 23–53.
- Telpaz, A., Rhindress, B., Zelman, I. & Tsimhoni, O. (2017). Using a Vibrotactile Seat for Facilitating the Handover of Control during Automated Driving. *International Journal of Mobile Human Computer Interaction*, 9(3), 17–33.
- Thode, H. (2002). *Testing for Normality* (1. Aufl.). New York: Dekker Marcel.

-
- Trautner, H. M. (1997). *Lehrbuch der Entwicklungspsychologie* (2. Aufl.). Göttingen: Hogrefe.
- Treisman, A. M. & Geffen, G. (1967). Selective attention: Perception or response? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 19(1), 1–17.
- Trezise, I., Stoney, E. G., Bishop, B., Eren, J., Harkness, A., Langdon, C. et al. (2006). *Inquiry into Driver Distraction. Report of the Road Safety Committee on the Inquiry into Driver Distraction*. Parliamentary Paper No. 209, Session 2003-2006. Melbourne Victoria: Road Safety Committee, Parliament of Victoria.
- Tsang, P. S. & Velazquez, V. L. (1996). Diagnosticity and multidimensional subjective workload ratings. *Ergonomics*, 39(3), 358–381.
- VDA. (2015). *Automatisierung. Vom Fahrerassistenzsystem zum automatisierten Fahren* (Verband der Automobilindustrie e.V., Hrsg.). Berlin.
- Vogelpohl, T., Kühn, M., Hummel, T., Gehlert, T. & Vollrath, M. (2018). Transitioning to manual driving requires additional time after automation deactivation. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 55, 464–482.
- Vogelpohl, T., Vollrath, M., Kühn, M., Hummel, T. & Gehlert, T. (2016). *Übergabe von hochautomatisiertem Fahren zu manueller Steuerung* (Forschungsbericht Nr. 39). Berlin: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.
- Vollrath, M., Briest, S., Schießl, C., Drewes, J. & Becker, U. (2006). *Ableitung von Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme aus Sicht der Verkehrssicherheit* (Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen F, Fahrzeugtechnik, Heft F 60). Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- Walch, M., Mühl, K., Kraus, J., Stoll, T., Baumann, M. & Weber, M. (2017). From Car-Driver-Handovers to Cooperative Interfaces: Visions for Driver-Vehicle Interaction in Automated Driving. In G. Meixner & C. Müller (Hrsg.), *Automotive User Interfaces. Creating Interactive Experiences in the Car* (Human-Computer Interaction Series, Bd. 14, S. 273–294). Basel: Springer International Publishing.
- Wandtner, B., Schömig, N. & Schmidt, G. (2018). Effects of non-driving related task modalities on takeover performance in highly automated driving. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 60(6), 870–881.
- Weiß, J. (2003). *Beitrag zur Entwicklung eines optimierten Bremsassistenten*. Dissertation. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.
- Welford, A. (1960). The measurement of sensory-motor performance. Survey and reappraisal of twelve years' progress. *Ergonomics*, 3(3), 189–230.
- Wickens, C. D. (1984). Processing Resources in Attention. In R. Parasuraman & D. R. Davies (Hrsg.), *Varieties of Attention* (Academic Press series in cognition and perception, 2. Aufl., S. 63–101). New York: Academic Press.

-
- Wickens, C. D. (2002). Multiple Resources and Performance Prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3(2), 159–177.
- Wickens, C. D. & Carswell, M. C. (2012). Information Processing. In G. Salvendy (Hrsg.), *Handbook of Human Factors and Ergonomics* (4. Aufl., S. 117–161). Hoboken, NJ: Wiley.
- Wickens, C. D., Hollands, J. G., Banbury, S. & Parasuraman, R. (2016). *Engineering Psychology and Human Performance* (4. Aufl.). London: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Wierwille, W. W., Rahimi, M. & Casali, J. G. (1985). Evaluation of 16 Measures of Mental Workload using a Simulated Flight Task Emphasizing Mediation Activity. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 27(5), 489–502.
- Wilson, G. F. & Eggemeier, F. T. (1991). Psychophysiological assessment of workload in multi-task environments. In D. L. Damos (Hrsg.), *Multiple task performance* (S. 329–359). London: Taylor & Francis.
- Winner, H., Hakuli, S., Lotz, F. & Singer, C. (Hrsg.). (2015). *Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort* (ATZ/MTZ-Fachbuch, 3. Aufl.). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Winter, J. de, Happee, R., Martens, M. H. & Stanton, N. A. (2014). Effects of adaptive cruise control and highly automated driving on workload and situation awareness: A review of the empirical evidence. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 27(Part B), 196–217.
- Winter, J. de, Stanton, N. A., Price, J. S. & Mistry, H. (2016). The effects of driving with different levels of unreliable automation on self-reported workload and secondary task performance. *International Journal of Vehicle Design*, 70(4), 297–324.
- Wolfers, A. & Pillitz, C. (1994). Betinhos Traum. *GEO Magazin*, (10), 104–128.
- Wolfers, B. (2017). Selbstfahrende Autos: Ist das erlaubt? Einführung in die Regulierung des automatisierten Fahrens und den StVG-Änderungsentwurf der Bundesregierung von Januar 2017. *RAW*, 5(1), 2–13.
- Wulf, F., Zeeb, K., Rimini-Doring, M., Arnon, M. & Gauterin, F. (2013). Effects of human-machine interaction mechanisms on situation awareness in partly automated driving. In *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)* (S. 2012–2019). Piscataway, NJ: IEEE.
- Yang, Y., Karakaya, B., Dominioni, G. C., Kawabe, K. & Bengler, K. (2018). An HMI Concept to Improve Driver's Visual Behavior and Situation Awareness in Automated Vehicle. In *Intelligent Transportation Society* (Hrsg.), *World Congress on Intelligent Transport Systems* (S. 650–655). New York: IEEE.
- Yang, Y., Klinkner, J. N. & Bengler, K. (2019). How Will the Driver Sit in an Automated Vehicle? – The Qualitative and Quantitative Descriptions of Non-Driving Postures (NDPs) When Non-Driving-Related-Tasks (NDRTs) Are Conducted. In S. Bagnara, R. Tartaglia, S. Albolino, T. Alexander & Y.

-
- Fujita (Hrsg.), *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)* (Advances in Intelligent Systems and Computing, Bd. 823, S. 409–420). Basel: Springer International Publishing.
- Yerkes, R. M. & Dodson, J. D. (1908). The Relation of Strength of Stimulus to Rapidity of Habit Formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, 18(5), 459–482.
- Young, K., Rausch, H. & Hammer, M. (2003). *Driver Distraction: A Review of the Literature* (Monash University Accident Research Centre, Hrsg.). Victoria, Australien.
- Young, M. S., Brookhuis, K. A., Wickens, C. D. & Hancock, P. A. (2015). State of science: mental workload in ergonomics. *Ergonomics*, 58(1), 1–17.
- Young, M. S. & Stanton, N. A. (2002). Attention and automation: new perspectives on mental underload and performance. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3(2), 178–194.
- Zeeb, K. (2016). *Der Einfluss fahrfremder Tätigkeiten auf die Fahrerübernahme während des hochautoamtisierten Fahrens*. Dissertation. Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf.
- Zeeb, K., Buchner, A. & Schrauf, M. (2016). Is take-over time all that matters? The impact of visual-cognitive load on driver take-over quality after conditionally automated driving. *Accident Analysis and Prevention*, 92, 230–239.
- Zhang, B., Winter, J. de, Varotto, S., Happee, R. & Martens, M. (2019). Determinants of take-over time from automated driving: A meta-analysis of 129 studies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 64, 285–307.
- Zöllner, I. M., Diederich, C., Abendroth, B. & Bruder, R. (2013). Fahrsimulatorvalidität - Systematisierung und quantitative Analyse bisheriger Forschungen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 67(4), 197–206.

Studentische Arbeiten

Versuchsvorbereitung

- Ambaye, A., Baron, G., Estrela, N. F. & Troll, N. (2019). *Entwicklung und Evaluierung eines Messkonzepts zur Beanspruchungsmessung von fahrfremden Tätigkeiten bei einer hochautomatisierten Fahrt am IAD Fahrsimulator*. Advanced-Design-Project. TU Darmstadt, Darmstadt. [unveröffentlicht]
- Gamperl, M. K. J. (2018). *Beanspruchungsmessungen von fahrfremden Tätigkeiten im automobilen Kontext*. Studienarbeit. TU Darmstadt, Darmstadt. [unveröffentlicht]
- Nikolow, A. (2019). *Literaturanalyse zur rechtlichen Situation für automatisierte Fahrzeuge*. Master-Thesis. TU Darmstadt, Darmstadt. [unveröffentlicht]

Versuchsdurchführung: Empirische Studien zur Identifikation von fahrfremden Tätigkeiten

Hanselka, S. (2018). *Identifizierung und Bewertung fahrfremder Tätigkeiten bei hochautomatisierter Fahrt*. Master-Thesis. TU Darmstadt, Darmstadt. [unveröffentlicht]

Landenberger, F. (2018). *Fahrfremde Tätigkeiten bei hochautomatisierter Fahrt - Welche Tätigkeiten wollen Personen ausführen?* Studienarbeit. TU Darmstadt, Darmstadt. [unveröffentlicht]

Versuchsdurchführung: Empirische Studie zu den Auswirkungen von fahrfremden Tätigkeiten

Abedin, N. (2019). *Entwicklung eines Auswertungskonzepts zur Messung des Situationsbewusstseins während der Ausführung von fahrfremden Tätigkeiten bei hochautomatisierter Fahrt und Durchführung von Fahrversuchen zur Evaluation des Konzepts*. Studienarbeit. TU Darmstadt, Darmstadt. [unveröffentlicht]

Estrela, N. F. (2019). *Entwicklung eines Auswertungskonzepts zur Beanspruchungsmessung von fahrfremden Tätigkeiten bei hochautomatisierter Fahrt und Durchführung von Fahrversuchen zur Evaluation des Konzepts*. Master-Thesis. TU Darmstadt, Darmstadt. [unveröffentlicht]

Gündüzkanat, U. D. (2020). *Entwicklung eines Auswertungskonzepts zur Messung der elektrodermalen Aktivitäten während der Ausführung von fahrfremden Tätigkeiten bei hochautomatisierter Fahrt und Durchführung von Fahrversuchen zur Evaluation des Konzepts*. Studienarbeit. TU Darmstadt, Darmstadt. [unveröffentlicht]

Hetfleisch, R. H. (2019). *Entwicklung eines Auswertungskonzepts zur Messung der menschlichen Ressourcenauslastung von fahrfremden Tätigkeiten bei hochautomatisierter Fahrt und Durchführung von Fahrversuchen zur Evaluation des Konzepts*. Bachelor-Thesis. TU Darmstadt, Darmstadt. [unveröffentlicht]

Zecha, L. B. (2019). *Entwicklung eines Auswertungskonzepts zur Messung der Rückübernahmefähigkeit während der Ausführung von fahrfremden Tätigkeiten bei hochautomatisierter Fahrt und Durchführung von Fahrversuchen zur Evaluation des Konzepts*. Bachelor-Thesis. TU Darmstadt, Darmstadt. [unveröffentlicht]

Anhang

A	Online-Fragebogen	A-2
B	Ethikkommission	A-8
C	Probandenanschreiben und Versuchsvorbereitung	A-10
D	Aufklärungsbogen und Einverständniserklärung	A-14
E	Streckendesign Hauptstudie	A-16
F	Versuchsprotokoll.....	A-18
G	Fragebögen Hauptstudie.....	A-27
H	Weitere Ergebnisse Hauptstudie	A-62

A Online-Fragebogen

Fragebogenerstellung in Zusammenarbeit mit Landenberger (2018)

Online-Fragebogen Seite 1 – Begrüßung

So hat man sich vor 50 Jahren...



Eingebettete [GIF-Video-Datei](#)

... das **automatisierte Fahren** vorgestellt. Nun kommen wir dem immer näher und werden vielleicht bereits in wenigen Jahren auf unseren Straßen Auto fahren, ohne selbst lenken, Gas geben oder auf den Verkehr achten zu müssen. Doch was machen wir mit der gewonnenen Freizeit im Auto?

Das möchten wir mit dieser Befragung herausfinden. Wir werden dir einige Fragen zu deinem Fahrverhalten stellen und dir in einem kurzen Video zeigen, wie das automatisierte Fahren in Zukunft tatsächlich aussehen könnte! Die Umfrage dauert **ca. 10 min.**

Hinweis: Die Befragung erfolgt im Rahmen einer Studienarbeit am Institut für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt. Deine Eingaben werden **anonym erfasst** und **nur zu Forschungszwecken** ausgewertet.

Online-Fragebogen Seite 2 – Angaben zum allgemeinen Fahrverhalten

Zunächst möchten wir einige Dinge über dich als Fahrer und über dein Fahrverhalten erfahren.
WICHTIG: Sämtliche Fragen beziehen sich hierbei nur auf deine Rolle als Fahrer, NICHT als Beifahrer!

1. Besitzt du zurzeit einen Führerschein?

- ☐ Ja
- ☐ Nein

2. Wie lange besitzt du bereits deinen Führerschein? Bitte verwende nur ganze Zahlen bei deiner Antwort.

- ☐ Seit Jahr/Jahren

3. Wie viele Kilometer legst du ungefähr jährlich als Fahrer im Auto zurück?

- ☐ 0 bis 5.000 km (\triangleq ca. 0-100 km pro Woche)
- ☐ > 5.000 bis 10.000 km (\triangleq ca. >100-200 km pro Woche)
- ☐ > 10.000 bis 15.000 km (\triangleq ca. >200-300 km pro Woche)
- ☐ > 15.000 bis 20.000 km (\triangleq ca. >300-400 km pro Woche)
- ☐ mehr als 20.000 km (\triangleq ca. >400 km pro Woche)

4. Hast du bereits Erfahrungen mit der Nutzung von Fahrassistenzsystemen wie z. B. Tempomat, Spurhalte- oder Abstandsregelassistent?

- ☐ Ja
- ☐ Nein

5. Wenn ja, wie häufig nutzt du zurzeit Fahrassistenzsysteme, wenn du Auto fährst?

Fahrassistenzsysteme nutze ich...

- ☐ Nie
- ☐ Selten
- ☐ Gelegentlich
- ☐ Häufig
- ☐ Sehr Häufig

Online-Fragebogen Seite 3 – Hinweis zur Vorstellung einer Referenzfahrt

Überschrift: Bitte denke nun an die Autofahrt, die du am häufigsten ausführst!

Jeder von uns nutzt das Auto unterschiedlich. Auch du nutzt es vermutlich nicht nur für eine, sondern für mehrere Arten von Fahrten (z. B. Fahrt zur Arbeit, Wocheneinkauf usw.).

Für die Beantwortung der folgenden Fragen denke bitte nun an jene Art von Autofahrt, die du am häufigsten als Fahrer ausführst – also eine typische Autofahrt für dich. Stelle dir die Fahrt so genau wie möglich vor. Erwähne dich daran, wo du hinfährst, welche Strecke du nimmst und zu welcher Uhrzeit du unterwegs bist. Beantworte die folgenden Fragen bitte für genau diese Fahrt. Wir nennen sie ab jetzt "Referenzfahrt".

Online-Fragebogen Seite 4 – Erhebung der Fahraufgabe

Bitte beschreibe deine Referenzfahrt. Bitte wähle bei sämtlichen Fragen die Antwort aus, die am ehesten passt, selbst wenn diese nicht vollstens auf deine Situation zutrifft.

6. Für welchen Zweck nutzt du das Auto bei deiner Referenzfahrt?

- ☐ Private Besorgungen
- ☐ Private Reisen
- ☐ Berufspendeln
- ☐ Berufsreisen
- ☐ Freizeit

7. Auf welcher Art von Strecken fährst du bei deiner Referenzfahrt hauptsächlich?

- ☐ In der Stadt
- ☐ Auf Landstraßen
- ☐ Auf der Autobahn

8. Wie lang ist die durchschnittliche Fahrzeit für deine Referenzfahrt? Gemeint ist hierbei die einfache Fahrt, nicht hin und zurück.

- ☐ Ungefähr Minuten

9. Wie würdest du die Verkehrslage bei deiner Referenzfahrt beschreiben?

- ☐ Kein Verkehr
- ☐ Wenig Verkehr
- ☐ Mittelmäßiger Verkehr
- ☐ Dichter Verkehr
- ☐ Sehr dichter Verkehr

10. Hast du während deiner Referenzfahrt Passagiere/Beifahrer im Auto?

- ☐ Keine Passagiere
- ☐ Einen Passagier
- ☐ Mehrere Passagiere
- ☐ Ein oder mehrere Kinder

Online-Fragebogen Seite 5 – Fahrfremde Tätigkeiten während manueller Fahrt

Überschrift: Welche fahrfremden Tätigkeiten führst du als Fahrer während deiner Referenzfahrt aus?

Uns interessiert, was du während deiner Referenzfahrt so machst. Es geht hierbei um sämtliche Tätigkeiten, die mit dem Autofahren selbst nichts zu tun haben. Bitte antworte ehrlich, alle Antworten bleiben natürlich anonym.

Zur Erinnerung, du hast deine Referenzfahrt wie folgt beschrieben:

HINWEIS: An dieser Stelle wurden den Probanden die zuvor auf Seite 4 gegebenen Antworten auf die Fragen Nr. 6 - 10 zur Erinnerung an ihre Referenzfahrt erneut eingeblendet.

11. Bitte bewerte, wie häufig du bei deiner Referenzfahrt folgende Tätigkeiten ausführst. Denke daran, die Fragen nur aus deiner Perspektive als Fahrer, nicht als Beifahrer, zu beantworten.

	nie	selten	gelegentlich	häufig	sehr häufig
Kurznachrichten oder E-Mails am Smartphone lesen/schreiben	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Im Internet oder sozialen Medien surfen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mit dem Beifahrer interagieren (Reden, Gegenstände übergeben)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Telefonieren	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Musik oder Radio hören	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Etwas lesen (Zeitung, Buch, Dokumente)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Rauchen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Etwas essen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Etwas trinken	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Filme oder Videos schauen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Persönliche Hygiene (Schminken, Rasieren, Zähneputzen, Haare stylen, Kontaktlinsen einsetzen)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tablet oder Computer bedienen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Schlafen / Ausruhen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bordcomputer oder Bedienelemente des Fahrzeugs bedienen (z. B. Sitzheizung, Klimaanlage)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Navigationssystem bedienen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kleidung wechseln oder an-/ausziehen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Künstlerische Tätigkeiten (z. B. Singen)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aus dem Fenster schauen (ohne Bezug zur Fahrt)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gegenstände im Fahrzeug suchen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Etwas spielen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Über etwas nachdenken	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sonstige Tätigkeiten (Mehrfacheintragung möglich)	Freitexteingabe				

Online-Fragebogen Seite 6 – Videoeinblendung zur Vorstellung des hochautomatisierten Fahrens

Überschrift: Bitte sieh Dir nun das folgende Video an.

Das Video zeigt dir, wie das Autofahren in wenigen Jahren für uns aussehen könnte.

Bitte aktiviere den Ton und schaue das Video bis zum Ende - das ist für die Qualität der weiteren Umfrage wichtig! Es dauert nur etwas mehr als eine Minute.

Bereit? Dann Film ab!



Quelle: Volvo Cars

Das Video ist auch nach Abschluss der Studie abrufbar unter: https://youtu.be/s_i6llaV7b4

Online-Fragebogen Seite 7 – Erinnerung an die angegebene Referenzfahrt

Überschrift: Stelle dir nun Folgendes vor

Für die Beantwortung der vorigen Fragen hast du eine bestimmte Art von Autofahrt beschrieben, die du am häufigsten als Fahrer ausführst. Dabei hast du folgendes angegeben:

HINWEIS: Wie bereits auf S. 5 wurden den Probanden an dieser Stelle die zuvor von ihnen auf S. 4 gegebenen Antworten auf die Fragen Nr. 6 - 10 zur Erinnerung an ihre Referenzfahrt eingeblendet.

Bitte stelle dir nun vor, du würdest genau diese Fahrt ausführen und könntest dabei wie im Video beschrieben automatisiert fahren.

Wichtig: Du darfst hierbei sämtliche limitierenden Aspekte der Straßenverkehrsordnung wie z. B. das Handyverbot ignorieren!

Online-Fragebogen Seite 8 – Fahrfremde Tätigkeiten während hochautomatisierter Fahrt

12. Hast du das Video bis zum Ende geschaut?

- ☐ Ja
- ☐ Nein

13. Bitte bewerte, wie häufig du die folgenden Tätigkeiten während der Fahrt ausführen würdest, wenn dein Auto wie im Video automatisiert fahren könnte. Bitte denke daran, die Fragen nur aus deiner Perspektive als Fahrer und nicht als Beifahrer zu beantworten.

HINWEIS: An dieser Stelle wurde erneut dieselbe Liste in permutierter Reihenfolge abgefragt (vgl. Frage 11).

Online-Fragebogen Seite 9 – Abfrage sozio-demografischer Daten

Damit wir deine Antworten richtig auswerten können, möchten wir abschließend noch etwas mehr über dich erfahren. Diese Informationen benötigen wir nur, um sie zu deinem Antwortverhalten im Fragebogen in Beziehung setzen zu können.

14. Wie alt bist du?

- ☐ Ich bin Jahre alt.

15. Bitte gib dein Geschlecht an.

- ☐ Weiblich
- ☐ Männlich

16. Was machst du beruflich?

- ☐ In Ausbildung
- ☐ Student/in
- ☐ Angestellte/r
- ☐ Beamte/r
- ☐ Selbstständig
- ☐ Leitende/-r Angestellte/-r
- ☐ Hausfrau/Hausmann
- ☐ Im Ruhestand
- ☐ Ohne Beschäftigung / Arbeitssuchend
- ☐ Sonstiges

B Ethikkommission

Cover-Story-Fahrsimulatorstudie

Technische Universität Darmstadt | Karolinenplatz 5 | 64289 Darmstadt



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Frau
Dr.-Ing. Bettina Abendroth
Fachbereich Maschinenbau

L1|01 – im Hause

Ihr Antrag EK 36/2018: Identifizierung und Bewertung fahrfremder Tätigkeiten bei hochautomatisierter Fahrt

Sehr geehrte Frau Abendroth,
haben Sie Dank für Ihren Antrag vom 29.08.2018.

Die Ethikkommission hat diesen eingehend erörtert. Die im Antrag skizzierte Studie erscheint unproblematisch. Die Ethikkommission möchte Ihnen jedoch folgende Hinweise geben, die Sie bitte beachten sollten:

- Altersangaben sollten, wenn möglich, geclustert werden (Angaben „von...bis...“).
- Die Fragebögen sollten hinsichtlich der verwendeten Anrede („Sie“) vereinheitlicht werden.
- Die Ethikkommission geht bei ihrem positiven Votum davon aus, dass die Videodaten nach der Auswertung gelöscht werden.
- Die Ethikkommission geht davon aus, dass es sich bei der nicht näher bezifferten Aufwandsentschädigung um eine niedrige zweistellige Summe handelt. Bitte sehen Sie davon ab, Gutscheine von kommerziellen Akteuren anzubieten, da dadurch einzelne Unternehmen unangemessen hervorgehoben würden.

Die Ethikkommission spricht ein positives Votum aus und wünscht den geplanten Forschungen viel Erfolg.

Mit freundlichem Gruß

Prof. Dr. Petra Gehring, Vorsitzende der Ethikkommission

Prof. Dr. Petra Gehring
Vorsitzende der Ethikkommission

Karolinenplatz 5
64289 Darmstadt

Tel. +49 6151 16 - 57333
Fax +49 6151 16 - 57488
gehring@phil.tu-darmstadt.de

12.09.2018

Seite: 1/1

Hauptstudie

KABAC	
21. Dez. 2018	
Fr	
Technische Universität Darmstadt Karolinerplatz 5 64289 Darmstadt	
Frau Dr.-Ing. Bettina Abendroth Fachbereich Maschinenbau Liljöl – im Hause	
Ihr Antrag EK 55/2018: Bewertung fahrfremder Tätigkeit bei hochautomatisierter Fahrt	
Sehr geehrte Frau Dr.-Ing. Abendroth, haben Sie Dank für Ihren Antrag vom 5. Dezember 2018. Die Ethikkommission hat diesen eingehend erörtert. Die im Antrag skizzierte Studie erscheint unproblematisch. Die Ethikkommission gibt lediglich folgenden Hinweis: Die Höhe der Aufwandsentschädigung sollte sich im niederen zweistelligen Bereich bewegen und im Aufklärungsbogen explizit genannt werden. Auf die Ausgabe von Gutscheinen o. ä. von überregionalen Firmen (z. B. Amazon) sollte verzichtet werden, da dadurch eine Firma unangemessen hervorgehoben werden würde (die TU vermeidet im Forschungskontext Werbung). Die Ethikkommission spricht daher mit o. g. Hinweis ein positives Votum aus und wünscht für die geplanten Forschungen viel Erfolg. Mit freundlichem Gruß  Prof. Dr. Petra Gehring Vorsitzende der Ethikkommission	
Prof. Dr. Petra Gehring Vorsitzende der Ethikkommission Kontakt über: Geschäftsstelle der Ethikkommission Dr. Sebastian Hartmann Karolinerplatz 5 64289 Darmstadt Tel. +49 6151 16 - 10543 ethikkommission@tu-darmstadt.de 19.12.2018	
Seite: 1/1	

Untersuchung von fahrfremden Tätigkeiten bei hochautomatisierter Fahrt



Sehr geehrte Versuchsteilnehmerin, sehr geehrter Versuchsteilnehmer,

Das automatisierte Fahren ist kein Zukunftsszenario mehr. Bereits heute gibt es erste Fahrzeuge, die für einige Sekunden automatisiert aber unter ständiger Überwachung durch den Fahrer auf der Autobahn fahren können. Zukünftig werden Fahrzeuge auch im urbanen Raum vollständig automatisiert fahren. Neben der technischen Entwicklung muss jedoch auch der Fahrzeugnutzer mitberücksichtigt werden. Hierzu wird am Institut für Arbeitswissenschaft an der Technischen Universität Darmstadt eine Probandenstudie durchgeführt, bei der die Fahrer vier verschiedene fahrfremde Tätigkeiten während automatisierter Fahrt durchführen. Untersuchungsziel ist dabei die Identifikation des *Situationsbewusstseins*, der *Rückübernahmefähigkeit* und der *Beanspruchung* der Fahrer.

Bei dieser Studie werden Sie in einem Fahrsimulator hochautomatisiert gefahren. Hauptaugenmerk der gesamten Untersuchung ist die Ausführung der vier fahrfremden Tätigkeiten. Diese Tätigkeiten sind:

- Texte lesen
- Videodokumentation schauen
- Radioreportage hören
- das Schreiben von Textnachrichten

Während des ca. 3,5-4h dauernden Versuchs wird die Herzschlagrate (ggfs. muss **Brustbehaarung** entfernt werden), die Hautleitfähigkeit mittels Elektroden am Fuß (bitte **keine lange Strumpfhose** tragen) und das Blickverhalten mittels Blickerfassungsbrille (bitte mit **ungeschminkten Augen** zum Versuch erscheinen) erhoben. Falls Sie die Wahl zwischen Brille und Kontaktlinsen haben, erscheinen Sie bitte mit **Kontaktlinsen** zum Versuch. Des Weiteren finden ein simpler Reaktionszeittest und Befragungen zu den erlebten Situationen statt. Um das Fahrerverhalten auszuwerten, werden Video- und Tonaufnahmen angefertigt, welche nur zur Analyse gespeichert und anschließend sachgemäß gelöscht werden. Als Aufwandsentschädigung erhält jeder Proband 50€.

Sehen Sie sich bitte das folgende Video an, um mehr über die Funktionsweise eines automatisierten Fahrzeugs zu erfahren

https://youtu.be/s_i6IIaV7b4



Bitte klicken

Des Weiteren bitten wir Sie bereits den ersten Fragebogen auszufüllen.

<https://www.soscisurvey.de/Versuchsreihe-ffT/>



Bitte klicken

Wir danken Ihnen im Voraus bereits für Ihre Bereitschaft, an dem Versuch teilzunehmen. Sollten Sie an dem Versuch nicht teilnehmen können, wenden Sie sich bitte an Herrn Müller (a.mueller@iad.tu-darmstadt.de 06151 16 23 123).

Versuchsvorbereitung

In dem kommenden Versuch befinden Sie sich in einem Fahr Simulator und werden durch ein automatisiertes System gefahren. Hierbei übernimmt das Fahrzeug die Steuerung und fährt selbstständig durch verschiedene Stadtstrecken. Während des Versuchs werden Sie mehrmals aufgefordert, das Steuer zu übernehmen, nachdem eine **Rückübernahmeaufforderung** erscheint.

Des Weiteren gibt es Situationen, bei denen Sie die Verkehrssituation beobachten müssen. Hierfür werden die **Hinweismeldungen** im Fahrzeug angezeigt.

Diese verschiedenen Hinweise und Übernahmeaufforderungen werden durch farbige Lichtleisten und Hinweistöne übermittelt. Die verschiedenen Modi sind in folgender Übersicht für Sie dargestellt:

Manuelles Fahren

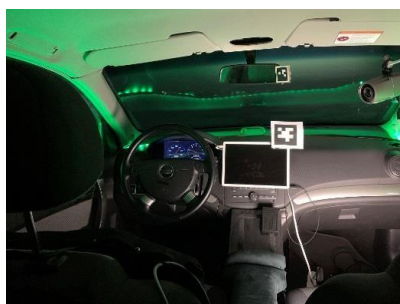
Sie können das Fahrzeug manuell mittels Lenkrad und Pedale steuern. Dies wird im Versuch nur sehr selten vorkommen.

Automatisiertes Fahren



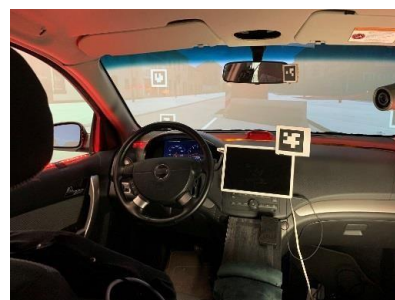
Beim automatisierten Fahren müssen Sie das Fahrzeug nicht mehr selbst steuern. Gas geben, Bremsen und Lenken übernimmt das Fahrzeug für Sie. **Wenn die Automation aktiv ist, leuchtet ein blaues Licht im Fahrzeug.** In dieser Zeit können Sie sich vollständig von der Fahraufgabe als Fahrzeugführer abwenden und sich mit fahrfremden Tätigkeiten beschäftigen.

Hinweismeldung



Es kann dazu kommen, dass Sie im Versuch trotz Automation des Fahrzeugs auf die Straße achten müssen. Dies wird durch eine **Melodie** und ein **grünes Licht** symbolisiert. **Bitte achten Sie auf die Verkehrssituation.** Das Fahrzeug fährt weiterhin automatisiert weiter. Sie müssen das Steuer nicht übernehmen. Nach der Hinweismeldung wird die Simulation pausiert und Ihnen wird ein Fragebogen zur aktuellen Verkehrssituation ausgeteilt.

Rückübernahmeaufforderung



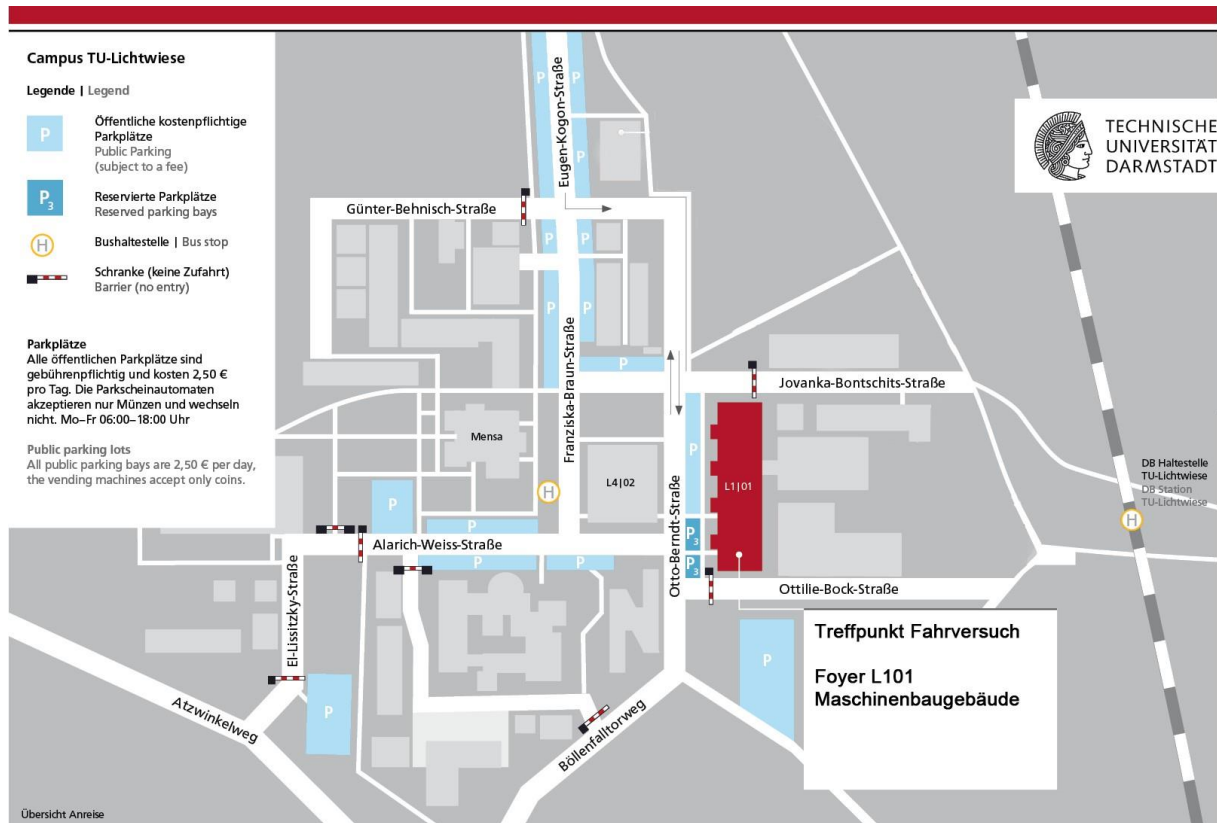
In gewissen unvorhergesehenen Situationen müssen Sie in das Fahrgeschehen eingreifen indem Sie wieder das Lenkrad und die Pedale zur Steuerung des Fahrzeugs benutzen. Das Fahrzeug wird Sie durch ein **rotes Licht**, einen **Hinweiston** und eine **Vibration der Rücklehnen** darauf aufmerksam machen. Bitte **übernehmen Sie so schnell wie möglich die Kontrolle über das Fahrzeug**, indem Sie lenken oder bremsen. Die Warnmeldung erlischt, sobald sie die Kontrolle übernommen haben.

Nachfolgend finden Sie eine Übersicht über verschiedene Verkehrsregeln, welche für den Versuch relevant sein können.

	Fußgängerübergang
	Vorfahrt gewähren
	Vorfahrt an der nächsten Kreuzung
	Stopp-Schild
	Rechts vor Links
	Vorfahrtsstraße
	Rote Ampel
	Grüne Ampel
	30er-Zone
	50er-Zone

Wegbeschreibung

Der Versuch findet im Maschinenbaugebäude **L101** an der Technischen Universität Darmstadt am Standort Lichtwiese statt. Sie werden im Foyer des Maschinenbaugebäudes von unserem Team abgeholt und anschließend zum Fahrsimulator begleitet. Am Standort Lichtwiese sind alle öffentliche Parkplätze gebührenpflichtig und kosten 2,50€ pro Tag. Die Parkscheinautomaten akzeptieren nur Münzen und wechseln nicht.



Anfahrt mit dem PKW

Folgen Sie vom Autobahnkreuz Darmstadt kommend der Rheinstraße/B26 entlang der Beschilderung *Darmstadt/Stadtmitte* in den City-Ring-Tunnel.

Im City-Ring-Tunnel nehmen Sie die linke Ausfahrt und biegen am Ende der Hügelstraße bei der Ampel halbrechts auf die Nieder-Ramstädter Straße ab. Folgen Sie der Straße für etwa 1 km, fahren Sie links in der Heinrichstraße ab und folgen Sie der Beschilderung *TU-Lichtwiese*.

Anfahrt mit öffentlichen Verkehrsmitteln

Der Campus TU-Lichtwiese ist mit öffentlichen Verkehrsmitteln über die Bushaltestelle *TU Lichtwiese/Mensa* und über die Bahnstation der Odenwaldbahn (VIAS) *Darmstadt TU-Lichtwiese Bahnhof* erreichbar.

Von Darmstadt Hauptbahnhof

Nehmen Sie die Buslinie Kin Richtung TU Lichtwiese bis zur Endhaltestelle *TU Lichtwiese/Mensa*. Die Fahrt dauert ca. 18 Minuten. Zur Vorlesungszeit kann zudem die Buslinie KUGenutzt werden.

D Aufklärungsbogen und Einverständniserklärung

Fahrfremde Tätigkeiten bei hochautomatisierter Fahrt

Aufklärungsbogen & Erklärung zum Datenschutz

Aufklärungsbogen

Die Richtlinien der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) sehen vor, dass sich die Teilnehmer_innen an empirischen Studien mit ihrer Unterschrift explizit und nachvollziehbar einverstanden erklären, dass sie freiwillig an unserer Forschung teilnehmen.

Aus diesem Grund möchten wir Sie bitten, die nachfolgenden Erläuterungen zum Inhalt der Studie zu lesen und untenstehende Einverständniserklärung zu unterzeichnen, sofern Sie damit einverstanden sind.

Mit der Teilnahme verbundene Erfahrungen/Risiken

Die Teilnehmer_innen an dieser Studie werden keinem Risiko ausgesetzt, das über die Risiken des alltäglichen Lebens hinausgeht.

Erklärung zum Datenschutz

Die Datenverarbeitung dieser Studie geschieht nach datenschutzrechtlichen Bestimmungen der Datenschutzgrundverordnung (DSGVO) sowie des Hessischen Datenschutz- und Informationsfreiheitsgesetzes (HDSIG). Die Daten werden ausschließlich für die im Aufklärungsbogen beschriebenen Zwecke verwendet.

Ich bin darüber informiert, dass die Aufzeichnung und Auswertung der Video- / Bild- / Tonaufnahme anonymisiert erfolgt. Die Aufnahme wird von einer Person ausgewertet, die der Schweigepflicht unterliegt und keine vertraulichen Informationen weitergibt. Mir ist bekannt, dass ich mein Einverständnis zur Aufbewahrung bzw. Speicherung dieser Daten widerrufen kann, ohne dass mir daraus Nachteile entstehen. Die Video- / Bild- / Tonaufnahme wird in einem verschlossenen Schrank aufbewahrt.

Ich bin darüber informiert worden, dass ich jederzeit eine Löschung meiner Aufnahmen verlangen kann. Die Aufnahmen werden aber in jedem Fall nach Abschluss der Auswertung vernichtet.

Mit der beschriebenen Handhabung der erhobenen Aufnahmen bin ich einverstanden.

Die Einverständniserklärung für die Video- / Bild- / Tonaufnahme ist freiwillig. Ich kann diese Erklärung jederzeit widerrufen. Im Falle einer Ablehnung oder eines Rücktritts entstehen für mich keinerlei Kosten oder anderweitige Nachteile; eine Teilnahme an der Studie ist dann allerdings nicht möglich.

Vertraulichkeit

Alle im Rahmen dieser Studie erhobenen Daten sind selbstverständlich vertraulich und werden nur in anonymisierter Form genutzt. Demographische Angaben wie Alter oder Geschlecht lassen keinen eindeutigen Schluss auf Ihre Person zu. Zu keinem Zeitpunkt im Rahmen der jeweiligen Untersuchung werden wir Sie bitten, Ihren Namen oder andere eindeutige Informationen zu nennen.

Aufbewahrung

Die mit dieser Studie erhobenen Daten werden in Darmstadt gespeichert und nach Ablauf der gesetzlichen Frist (10 Jahre für Forschungsdaten) gelöscht. Die Speicherung erfolgt in einer Form, die keinen Rückschluss auf Ihre Person zulässt, das heißt die Daten werden anonymisiert. Diese Einverständniserklärung wird getrennt von den anderen Versuchsmaterialien und Unterlagen aufbewahrt und nach Ablauf dieser Frist vernichtet.

Freiwilligkeit & Rechte der Versuchspersonen

Ihre Teilnahme an dieser Untersuchung ist freiwillig. Es steht Ihnen zu jedem Zeitpunkt dieser Studie frei, Ihre Teilnahme abubrechen und damit diese Einwilligung zurückziehen (Widerruf), ohne dass Ihnen daraus Nachteile entstehen. Wenn Sie die Teilnahme abbrechen, werden keine Daten von Ihnen gespeichert und alle bisher vorliegenden Daten zu Ihrer Person vernichtet.

Sie haben das Recht, Auskunft über die Sie betreffenden personenbezogenen Daten zu erhalten sowie ggf. deren Berichtigung oder Löschung zu verlangen. In Streiffällen haben Sie das Recht, sich beim Hessischen Datenschutzbeauftragten zu beschweren (Adresse s.u.).

Einverständnis

Ich habe die Erläuterungen zum Experiment gelesen und bin damit einverstanden, an der dem genannten Experiment teilzunehmen.

Ich erkläre mich einverstanden, dass die im Rahmen des Experiments erhobenen Daten (Fragebogen, Simulationsdaten und Video- / Bild- / Tonaufnahme) zu wissenschaftlichen Zwecken ausgewertet und in anonymisierter Form gespeichert werden. Ich bin mir darüber bewusst, dass meine Teilnahme freiwillig erfolgt und ich den Versuch jederzeit und ohne die Angabe von Gründen abbrechen kann.

Datum

Name (in Druckschrift)

Unterschrift

Bei Fragen, Anregungen oder Beschwerden können Sie sich gerne an *den/die Versuchsleiter/in* wenden:
Dr.-Ing. Bettina Abendroth, abendroth@iad.tu-darmstadt.de

Bei Fragen zum Datenschutz kann auch der Datenschutzbeauftragte der TU Darmstadt kontaktiert werden:

Gerhard Schmitt Email: datenschutz@tu-darmstadt.de

Kontaktadresse des Hessischen Datenschutzbeauftragten:

Email: poststelle@datenschutz.hessen.de

E Streckendesign Hauptstudie

Darstellung des Streckenverlaufs in m (Vogelperspektive: x y Koordinatensystem)

Farbliche Kodierung:

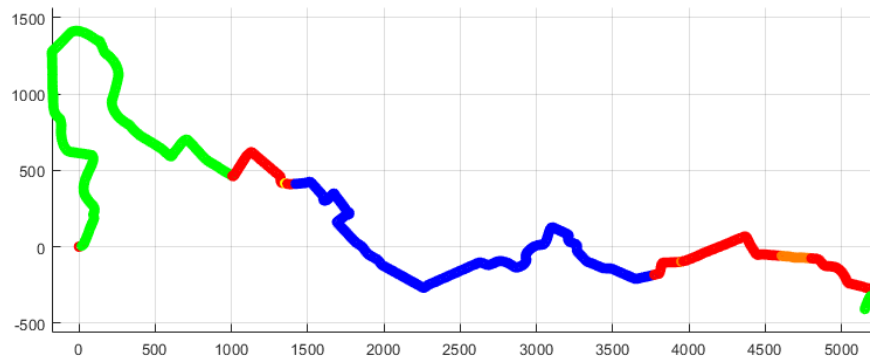
Grün: Beanspruchungsmessung

Blau: Sekundäraufgabe

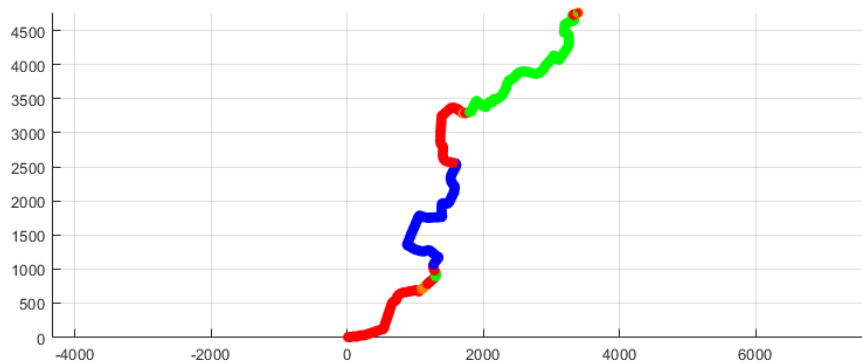
Orange: RÜA

Rot: kein definierter Messbereich

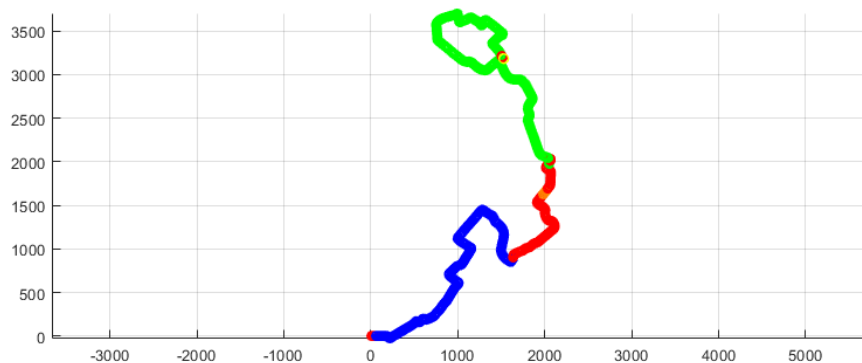
FFT1: Text lesen



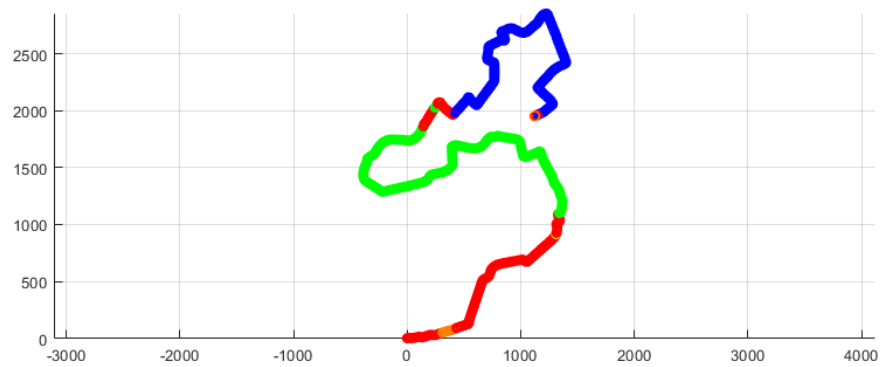
FFT2: Hörbuch hören



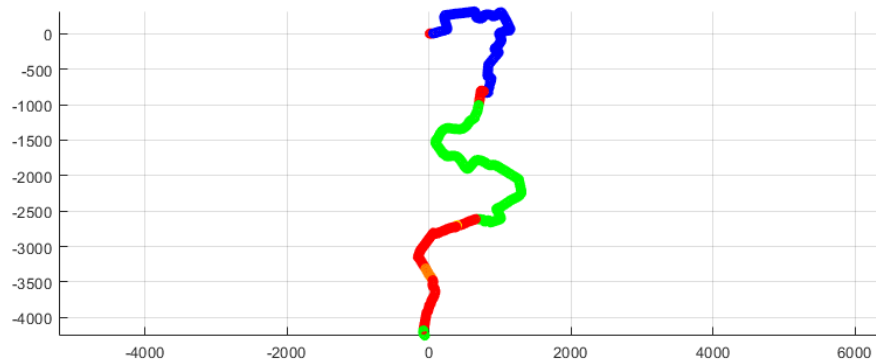
FFT3: Video schauen



FFT4: Texting



FFT5: Fahrt beobachten



F Versuchsprotokoll

FFT (2019)
Institut für Arbeitswissenschaft TUD

Versuchsprotokoll

Probanden-ID _____
Datum _____

Aufgabenpunkt

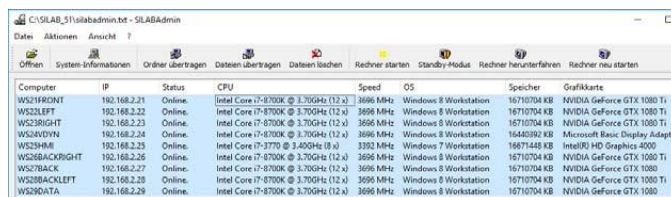
Lenkrad zentrieren
Stromsteckerleiste im Motorraum
aktivieren Shuttle PC per Hand starten
(darauf achten, dass der Receiver an ist. Falls nicht, dann diesen starten | richtiger Eingang muss
eingestellt sein) ☐

Stromsteckerleiste beim Operatorrechner aktivieren
WS200OPERATOR (linker PC) per Hand starten WS29DATA (rechter PC) per Hand starten ☐

Frei programmierbares Kombiinstrument starten (Fahrertür öffnen, seitlich im Amaturenbrett gibt es
drei Taster, den linken drücken)
Vibrationsmatte aktivieren (Rechnergehäuse hinter dem Fahrersitz - ! nicht aktivieren bevor
WS200OPERATOR aktiv ist, da ansonsten 10 Sekunden Motoren auf Volllast laufen) ☐

Beamer starten (Drei an der Decke, zwei links und rechts vom Fahrzeug und einer beim Operatorrechner) ☐

WS200OPERATOR im Programm SILABAdmin alle noch nicht hochgefahrenen Rechner starten (darauf
achten dass alle Grafikkarten vorhanden sind, falls nicht beliebig oft neustarten (Frontprojektion muss
schwarzes Kalibrierungskreuz aufweisen)



Computer	IP	Status	CPU	Speed	OS	Speicher	Grafikkarte
WS1FRONT	192.168.2.21	Online	Intel Core i7-8700K @ 3.70GHz (12 x)	3686 MHz	Windows 8 Workstation	16710704 KB	NVIDIA GeForce GTX 1080 Ti
WS2LEFT	192.168.2.22	Online	Intel Core i7-8700K @ 3.70GHz (12 x)	3686 MHz	Windows 8 Workstation	16710704 KB	NVIDIA GeForce GTX 1080 Ti
WS2RIGHT	192.168.2.23	Online	Intel Core i7-8700K @ 3.70GHz (12 x)	3686 MHz	Windows 8 Workstation	16710704 KB	NVIDIA GeForce GTX 1080 Ti
WS200VIM	192.168.2.24	Online	Intel Core i7-8700K @ 3.70GHz (12 x)	3686 MHz	Windows 8 Workstation	16480392 KB	Microsoft Basic Display Adapter
WS29HMI	192.168.2.25	Online	Intel Core i7-3770 @ 3.40GHz (8 x)	3392 MHz	Windows 7 Workstation	16671448 KB	Intel(R) HD Graphics 4000
WS26BACKRIGHT	192.168.2.26	Online	Intel Core i7-8700K @ 3.70GHz (12 x)	3686 MHz	Windows 8 Workstation	16710704 KB	NVIDIA GeForce GTX 1080 Ti
WS27BACK	192.168.2.27	Online	Intel Core i7-8700K @ 3.70GHz (12 x)	3686 MHz	Windows 8 Workstation	16710704 KB	NVIDIA GeForce GTX 1080 Ti
WS28BACKLEFT	192.168.2.28	Online	Intel Core i7-8700K @ 3.70GHz (12 x)	3686 MHz	Windows 8 Workstation	16710704 KB	NVIDIA GeForce GTX 1080 Ti
WS29DATA	192.168.2.29	Online	Intel Core i7-8700K @ 3.70GHz (12 x)	3686 MHz	Windows 8 Workstation	16710704 KB	NVIDIA GeForce GTX 1080 Ti

EyeTracking Rechner starten -
EyeTracker ConnectBox starten (Schwarzer Schalter - grüne LED geht an
Darauf achten, dass das LAN/ Netzwerk Kabel, USB Kabel zur ET-ConnectBox, Netzteil eingesteckt
ist neuen Probanden anlegen ☐

Tablet starten
Ordner mit den Videos bereits öffnen
Drei PDFs bereits in Adobe öffnen
Fragebögen im Browser bereits
öffnen siehe URL:
<https://www.soscisurvey.de/Versuchsreihe-fft/?q=VF>
www.soscisurvey.de/Versuchsreihe-fft/?q=N (Vor der
Trainingsfahrt) www.soscisurvey.de/Versuchsreihe-fft/?q=SB
(Baseline) www.soscisurvey.de/Versuchsreihe-fft/?q=fft1
www.soscisurvey.de/Versuchsreihe-fft/?q=fft2
www.soscisurvey.de/Versuchsreihe-fft/?q=fft3
www.soscisurvey.de/Versuchsreihe-fft/?q=fft4
www.soscisurvey.de/Versuchsreihe-fft/?q=Abschluss ☐

DRT am USB Netzteil anschließen (Wand rechts vom Simulationsauto) Reset Knopf am DRT betätigen ☐

VarioPort (EKG,EDA) Batterie einsetzen, Melodi ertönt	<input type="radio"/>
Silab Probedurchlauf starten, schauen ob alles richtig läuft	<input type="radio"/>
Proband am vereinbarten Wartepunkt (Foyer MB-Gebäude) abholen und begrüßen. Versuchsleiter stellt/ stellen sich vor. Proband wird ins Labor geführt. Smalltalk führen: "schon mal bei einem Versuch mitgemacht?..."	<input type="radio"/>
Proband ließt sich die Einverständniserklärung durch und unterschreibt.	<input type="radio"/>
Versuchsplan bezüglich Reihenfolge der durchzuführenden Fahrten checken	<input type="radio"/>
Proband nochmal Untersuchungsgrund vorstellen. Fokus liegt auf die Ausführung fahrfremder Tätigkeiten bei hochautomatisierter Fahrt. Fragen ob Sie sich das Video angeschaut haben. Nachfragen, ob Sie es nochmal sehen möchten. Anschließend die Fahrzeugmodi erklären (LED rot -> ins Steuer eingreifen; LED grün -> auf die Straße achten; LED blau -> automatisierte Fahrt und Ausführung von fahrfremden Tätigkeiten	<input type="radio"/>
Proband ggfs. nochmal auf Toilette schicken, da in den kommenden 3-3,5h keine regulären Pausen vorgesehen sind	<input type="radio"/>
Proband mit Messequipment ausstatten: EKG Elektroden anbringen wie auf dem Bild gezeigt (ggfs. im Nachbarraum). EDA Elektroden außerhalb des Fahrzeugs anbringen (gleicher Abstand bei jedem Probanden). Elektroden und Kabel mit Pflastern (Leukoplast) zusätzlich befestigen.	<input type="radio"/>
Proband ins Fahrzeug einsteigen lassen. Spiegel und Sitz einstellen	<input type="radio"/>
EDA und EKA anschließen (Box links vom Fahrersitz) EyeTracking Brille aufsetzen (achten auf den Bereich an den Ohren) Vibrationsmotor (DRT) am Schlüsselbein mit Leukoplast befestigen	<input type="radio"/>
DLAB EyeTracking Brille kalibrieren. 1) Suchbereich auf den Augapfel positionieren und die Größe anpassen. Brille ggfs. am Kopf etwas verstellen. 2) Darauf achten, dass zuerst nur der Kopf gedreht und nach oben und unten geneigt werden soll, solange bis der Kalibrierungsbereich mit dem Kreuz auf der Leinwand im vorderen Bereich übereinstimmt 3) Proband muss anschließend den Kopf in der genau der Position halten und nur die Augen zu den Kreuzen bewegen (Oben links, dann in DLAB auch auf das Kreuz klicken, dann oben rechts, unten recht, unten links.	<input type="radio"/>
DATA Rechner u/VARIOTEST starten Recording -> Setup Prüfen COM3 115200 IAD_1. Anschließend im nächsten Feld die Probanden ID eintragen. Anschließend auf Recording klicken.	<input type="radio"/>
Bevor eine neue Strecke in Silab gestartet werden kann, sicher gehen, dass Silab davor geschlossen war. Nachdem ein Projekt geöffnet war, immer SLAB schließen	<input type="radio"/>

Trainingsfahrt:

Ersten Fragebogen ausfüllen lassen NASA Referenz
<https://www.soscisurvey.de/Versuchsreihe-fft/?q=N>

Probanden erklären was passieren wird. Es gibt Messungen zum Situationsbewusstsein (Simulations wird pausiert) und zur Rückübernahmefähigkeit (rotes Licht und Vibrationsmeldung).

Am Ende der Fahrt wird eine Ruhemessung durchgeführt

Anschließend Reiz-Reaktionstest (Visuell - Auditiv - Vibrotaktil)

Probanden ID nach dem Launch und noch in das rot umrandete Feld eintragen.

Proband fährt die erste Zeit manuell. Probanden mitteilen, dass er sie bei der ersten Kreuzung gerade ausfahren soll. ☐

Anschließend startet der Automationsregler. Dann folgt SAGAT ohne Vorwarnung. (SLAB pausiert)

Probanden fragen was er/sie zuletzt wahrgenommen hat. Anschließend ihm/ihr sagen, dass die SAGAT Messung immer wieder vorkommen kann (mit Vorwarnung (grüne LEDs und Melodie) und ohne Vorwarnung). **VERSUCHSLEITER MUSS**

DANACH WIEDERAUFPLAY DRÜCKEN. Es folgt SAGAT mit Vorwarnzeit

Bei der Stadtausfahrt folgt eine Rückübernahmeaufforderung / TOR

Anschließend pausiert SLAB -> Referenzmessung EKG, EDA und ET nach 5 Minuten PLAY drücken

DRT starten (darauf achten, dass wenn die Zeit ausreichend ist, der DRT ausschalten, Stopuhr reset 2 mal klicken und dann DRT auf den nächsten Stimuli umschalten und erneut aktivieren. Wiederholen für alle drei Reize

Fahrt Beobachten

Probanden mitteilen, dass hier der Verkehr beobachtet werden soll und keine anderen fahrfremden Tätigkeiten ausgeführt werden dürfen

DRT- SAGAT A- Beanspruchungsmessung - SAGAT B- TOR- SAGAT C	<input type="radio"/>
EyeTracking starten	<input type="radio"/>
Probanden ID nach dem Launch und noch in das rot umrandete Feld eintragen.	<input type="radio"/>
DRT starten Der Versuchsperson sagen, welcher Reiz gleich kommt Stoppuhr reset 2 mal klicken DRT auf den nächsten Stimuli umschalten DRT erneut aktivieren	<input type="radio"/>
Wiederholen für alle drei Reize. Nachdem der letzte Stimuli eingeschaltet wurde, dann die drei Kreuzungen für SAGAT A vorbereiten	
SAGAT A: EyeTracking stoppen	<input type="radio"/>
Kreuzungen zur Auswahl geben- Fragebogen auf dem Tablet öffnen https://www.soscisurvey.de/Versuchsreihe-fft/?q=SB	<input type="radio"/>
EyeTracking starten - Play in Silab drücken	<input type="radio"/>
SAGAT B vorbereiten	<input type="radio"/>
Wenn Silab pausiert - DLAB Recording beenden	<input type="radio"/>
Kreuzungen zur Auswahl geben- Fragebogen auf dem Tablet ausfüllen lassen	<input type="radio"/>
EyeTracking starten - Play in Silab drücken	<input type="radio"/>
SAGAT C vorbereiten	<input type="radio"/>
Wenn Silab pausiert - DLAB Recording beenden	<input type="radio"/>
Kreuzungen zur Auswahl geben - Fragebogen auf dem Tablet ausfüllen lassen	<input type="radio"/>

FFT Text lesen

Probanden mitteilen, dass man drei Texte lesen wird.

Priorisierung liegt bei FFT.

Beanspruchungsmessung - SAGAT B- DRT- SAGTA A- TOR- SAGAT C	<input type="radio"/>
Mittels VNCViewer das Tablet fernsteuern und den ersten Text im PDF öffnen (mit STRGL) in den Vollbildmodus wechseln	<input type="radio"/>
EyeTracking starten	<input type="radio"/>
Probanden ID nach dem Launch und noch in das rot umrandete Feld eintragen.	<input type="radio"/>
SAGAT B Auswahlkreuzungen vorbereiten	<input type="radio"/>
Wenn Silab pausiert - DLAB Recording beenden	<input type="radio"/>
Kreuzungen zur Auswahl geben Fragebogen auf dem Tablet ausfüllen lassen https://www.soscisurvey.de/Versuchsreihe-fft/?q=fft1	<input type="radio"/>
TABLET WIEDER ZURÜCKDREHEN und 2. Text auswählen (STRGL) EyeTracking starten - Play in Silab drücken	<input type="radio"/>
DRT starten Der Versuchsperson sagen, welcher Reiz gleich kommt Stoppuhr reset 2 mal klicken	
DRT auf den nächsten Stimuli umschalten DRT erneut aktivieren Wiederholen für alle drei Reize. Nachdem der letzte Stimuli eingeschaltet wurde, dann die drei Kreuzungen für SAGAT A vorbereiten	<input type="radio"/>
Wenn Silab pausiert - DLAB Recording beenden	<input type="radio"/>
Kreuzungen zur Auswahl geben Fragebogen auf dem Tablet ausfüllen lassen	<input type="radio"/>
TABLET 3. Text auswählen (STRGL) EyeTracking starten - Play in Silab drücken	<input type="radio"/>
SAGAT C Kreuzungen vorbereiten	<input type="radio"/>
Wenn Silab pausiert - DLAB Recording beenden	<input type="radio"/>
Kreuzungen zur Auswahl geben Fragebogen auf dem Tablet ausfüllen lassen	<input type="radio"/>

FFT Radioreportage hören

Probanden mitteilen, dass man drei Radioreportagen über eine Reise hören wird.

Priorisierung liegt bei FFT.

TOR- SAGAT C- DRT- SAGAT B- Beanspruchung - SAGAT A	<input type="radio"/>
Radioreportage am Operatorrechner öffnen, aber noch nicht abspielen	<input type="radio"/>
EyeTracking starten	<input type="radio"/>
Silab starten - Probanden ID eintragen und auch in das rot umrandete Feld	<input type="radio"/>
SAGAT CKreuzungen vorbereiten	<input type="radio"/>
Wenn Silab pausiert - DLAB Recording beenden	<input type="radio"/>
Kreuzungen zur Auswahl geben Fragebogen auf dem Tablet ausfüllen lassen https://www.soscisurvey.de/Versuchsreihe-fft/?q=fft2	<input type="radio"/>
2. Audiofile am Operatorrechner auswählen EyeTracking starten - Play in Silab drücken	<input type="radio"/>
DRT starten Der Versuchsperson sagen, welcher Reiz gleich kommt Stoppuhr reset 2 mal klicken DRT auf den nächsten Stimuli umschalten DRT erneut aktivieren Wiederholen für alle drei Reize. Nachdem der letzte Stimuli eingeschaltet wurde, dann die drei Kreuzungen für SAGAT B vorbereiten	<input type="radio"/>
Wenn Silab pausiert - DLAB Recording beenden	<input type="radio"/>
Kreuzungen zur Auswahl geben Fragebogen auf dem Tablet ausfüllen lassen	<input type="radio"/>
3. Audiofile am Operatorrechner auswählen EyeTracking starten - Play in Silab drücken	<input type="radio"/>
SAGAT A Kreuzungen vorbereiten	<input type="radio"/>
Wenn Silab pausiert - DLAB Recording beenden	<input type="radio"/>
Kreuzungen zur Auswahl geben Fragebogen auf dem Tablet ausfüllen lassen	<input type="radio"/>

FFT Video schauen

Probanden mitteilen, dass man drei Videos sehen wird.

Priorisierung liegt bei FFT.

DRT- SAGAT A- TOR- SAGAT C- Beanspruchung - SAGAT B	<input type="radio"/>
Mittels VNCViewer das Tablet fernsteuern und das erste Video öffnen, aber noch nicht abspielen	<input type="radio"/>
EyeTracking starten	<input type="radio"/>
Silab starten - Probanden ID eintragen und auch in das rot umrandete Feld	<input type="radio"/>
1. Video starten (etwa 10-15 sek nachdem die Fahrt begonnen hat, damit Video nicht abbricht, wenn noch kein Ereignis stattfand)	<input type="radio"/>
DRT starten Der Versuchsperson sagen, welcher Reiz gleich kommt Stoppuhr reset 2 mal klicken	
DRT auf den nächsten Stimuli umschalten DRT erneut aktivieren Wiederholen für alle drei Reize. Nachdem der letzte Stimuli eingeschaltet wurde, dann die drei Kreuzungen für SAGAT A vorbereiten	<input type="radio"/>
Wenn Silab pausiert - DLAB Recording beenden	<input type="radio"/>
Kreuzungen zur Auswahl geben Mit VNC Tablet fernsteuern und den Probanden den Fragebogen auf dem Tablet ausfüllen lassen https://www.socisurvey.de/Versuchsreihe-fft/?q=fft3	<input type="radio"/>
EyeTracking starten - Silab fortsetzen	<input type="radio"/>
2. Video starten	<input type="radio"/>
SAGAT C Auswahlkreuzungen vorbereiten	<input type="radio"/>
Wenn Silab pausiert - DLAB Recording beenden	<input type="radio"/>
Kreuzungen zur Auswahl geben Mit VNC Tablet fernsteuern und den Probanden den Fragebogen auf dem Tablet ausfüllen lassen	<input type="radio"/>
EyeTracking starten - Silab fortsetzen	<input type="radio"/>
3. Video starten via VNC starten	<input type="radio"/>
SAGAT B Kreuzungen vorbereiten	<input type="radio"/>
Wenn Silab pausiert - DLAB Recording beenden	<input type="radio"/>
Kreuzungen zur Auswahl geben Mit VNC Tablet fernsteuern und den Probanden den Fragebogen auf dem Tablet ausfüllen lassen	<input type="radio"/>

FFT Texting

Probanden mitteilen, dass man während der Fahrt mit ihm kommunizieren wird.

Priorisierung liegt bei FFT.

TOR- SAGAT B- Beanspruchung - SAGAT C- DRT- SAGATA	<input type="radio"/>
Mittels VNCViewer das Tablet fernsteuern und Browser zum Texting Programm öffnen	<input type="radio"/>
Auf dem Operatorrechner Texting Seite öffnen	<input type="radio"/>
Silab starten - Probanden ID eintragen und auch in das rot umrandete Feld	<input type="radio"/>
Mit Probanden texten (siehe Fragenkatalog)	<input type="radio"/>
Kreuzungen für SAGAT B vorbereiten	<input type="radio"/>
Wenn Silab pausiert - DLAB Recording beenden	<input type="radio"/>
Kreuzungen zur Auswahl geben	
Mit VNC Tablet fernsteuern und den Probanden den Fragebogen auf dem Tablet ausfüllen lassen https://www.soscisurvey.de/Versuchsreihe-fft/?q=fft4	<input type="radio"/>
EyeTracking starten - Silab fortsetzen	<input type="radio"/>
Mit Probanden texten (siehe Fragenkatalog)	<input type="radio"/>
SAGAT C Auswahlkreuzungen vorbereiten	<input type="radio"/>
Wenn Silab pausiert - DLAB Recording beenden	<input type="radio"/>
Kreuzungen zur Auswahl geben	
Mit VNC Tablet fernsteuern und den Probanden den Fragebogen auf dem Tablet ausfüllen lassen	<input type="radio"/>
EyeTracking starten - Silab fortsetzen	<input type="radio"/>
Mit Probanden texten (siehe Fragenkatalog)	<input type="radio"/>
DRT starten Der Versuchsperson sagen, welcher Reiz gleich kommt Stoppuhr reset 2 mal klicken	
DRT auf den nächsten Stimuli umschalten Wiederholen für alle drei Reize. Nachdem der letzte Stimuli eingeschaltet wurde, dann die drei Kreuzungen für SAGAT A vorbereiten	<input type="radio"/>
Wenn Silab pausiert - DLAB Recording beenden	<input type="radio"/>
Kreuzungen zur Auswahl geben	
Mit VNC Tablet fernsteuern und den Probanden den Fragebogen auf dem Tablet ausfüllen lassen	<input type="radio"/>

Fragenkatalog

Welchen Film haben Sie zuletzt gesehen? Worum handelt dieser? Würden Sie ihn weiterempfehlen? Welches Buch/
welchen Artikel/ welches Paper haben Sie zuletzt gesehen? Worum handelt dieses / dieser? Würden Sie dieses/
diesen weiterempfehlen?

Wo waren Sie zuletzt im Urlaub? Geben Sie Reisetipps (Sightseeing, Ausgehtipps, Museen, Essen,
Ausstellungen, Events...)

Was würden Sie jemanden empfehlen der Ihre Heimatstadt besucht? (Sightseeing, Ausgehtipps, Museen, Essen,
Ausstellungen, Events...)

Würden Sie Ihren jetzigen Studiengang/ jetziges Unternehmen empfehlen? Wieso?

Wie finden Sie das Essen in Ihrer Mensa/ Kantine? Was würden Sie sich wünschen? Was würden Sie ändern? Sie ziehen ☐
um und müssen Ihren jetzigen Internetanbieter wechseln. Schreiben Sie eine Kündigung.

Sie wollen in Ihr Lieblingsrestaurant. Reservieren Sie einen Tisch.

Schreiben Sie eine Bewertung für Ihren Aufenthalt in einem Hotel/ Hostel/ Airbnb.

Geben Sie für das folgende Bild eine Wegbeschreibung ab.

Sie wollen Ihren Geburtstag groß feiern. Schreiben Sie eine Einladung. Schreiben Sie eine To Do List. Welche
Stadt in Deutschland mögen Sie am meisten? Wieso?

Schreiben Sie ein Rezept auf, das Ihnen in den Sinn kommt.

Abschlussfahrt

**Probanden mitteilen, dass 5 Minuten lang Messungen durchgeführt werden und
anschließend nochmal der Reiz-Reaktionszeittest stattfindet**

Silab starten - Probanden ID eintragen und auch in das rot umrandete Feld ☐

Mit VNCTablet fernsteuern und den Probanden den Fragebogen auf dem Tablet ausfüllen lassen
<https://www.soscisurvey.de/Versuchsreihe-fft/?q=Abschluss> ☐

Vorabfragebogen

Seite 02

3. Wie häufig lesen Sie?

☐ Täglich

☐ Mehrmals pro Woche

☐ Selten

☐ Nie

☐ Weiß nicht

4. Was lesen Sie am häufigsten?

- ☐ Bücher
- ☐ Zeitungen
- ☐ Zeitschriften
- ☐ Kurzgeschichten
- ☐ Comics
- ☐ Artikel (Internet)
- ☐ Weder noch

5. Welche Buch-/Textart bevorzugen Sie?

☒ Papierform

☐ Elektronisch (bspw. Ebook)

☐ Weiß nicht

	Trifft gar nicht zu	Trifft voll zu
Ich mag es zu lesen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	Trifft gar nicht zu	Trifft voll zu
Ich würde mich als einen schnellen/flüssigen Laser bezeichnen	○	○ ○ ○ ○ ○

	Triffst gar nicht zu	Triffst voll zu
Ich lasse mich beim Lesen schnell ablenken	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Seite 03

6. Wie häufig hören Sie ein Hörspiel / Podcast / Radioreportage?

☐ Täglich

☐ Mehrmals pro Woche

☐ Seltener

☐ Nie

☐ Weiß nicht

	Trifft gar nicht zu	Trifft voll zu
Ich mag es Hörspiele / Podcast / Radioreportage zu hören	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○

	Trifft gar nicht zu	Trifft voll zu
Ich bin ein aufmerksamer Zuhörer	○	○

	Trifft gar nicht zu	Trifft voll zu
Ich lasse mich beim Zuhören leicht ablenken	○	○
Ich lasse mich beim Zuhören leicht ablenken	○	○

Angaben zu Ihrer Person:

Datum Versuchstermin

Zeitpunkt Versuchstermin

Geburtsjahr:

Gender:
☒ Männlich
☐ Weiblich

1. Besitzen Sie einen Führerschein?

☒ Ja

☐ Nein

12. Wie viele Kilometer fahren Sie pro Jahr?

☐ 0-5.000
☐ 5.001-10.000
☐ 10.001-20.000
☐ 20.001-30.000
☐ 30.001-40.000
☐ mehr als 40.001

Seite 04

7. Wie häufig schauen Sie Film/Videos?

<input type="radio"/> Täglich	
<input type="radio"/> Mehrmals pro Woche	
<input type="radio"/> Seltener	
<input type="radio"/> Nie	
<input type="radio"/> Weiß nicht	

8. Welche Art von Film/Videos schauen Sie am häufigsten?

<input type="radio"/> Filme	
<input type="radio"/> Dokumentationen	
<input type="radio"/> Reportagen	
<input type="radio"/> Tutorials	
<input type="radio"/> Nachrichten	
<input type="radio"/> Serien	
<input type="radio"/> Weiß nicht	

Ich mag es Film/Videos zu schauen	Triff gar nicht zu	Triff voll zu
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Ich lese mich beim Zuschauen leicht ablenken	Triff gar nicht zu	Triff voll zu
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Ich würde mich als aufmerksamen Zuschauer bezeichnen	Triff gar nicht zu	Triff voll zu
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Seite 05

9. Wie häufig benutzen Sie Ihr Smartphone oder Tablet um bspw. eine Email oder Whatsapp-Nachricht zu schreiben?

<input type="radio"/> Täglich	
<input type="radio"/> Mehrmals pro Woche	
<input type="radio"/> Seltener	
<input type="radio"/> Nie	
<input type="radio"/> Weiß nicht	

Ich kann mich neben dem Texten noch auf andere Aufgaben/Gespräche konzentrieren	Triff gar nicht zu	Triff voll zu
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Ich würde mich als aufmerksamen Texter bezeichnen	Triff gar nicht zu	Triff voll zu
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Ich lese mich beim Texten leicht ablenken	Triff gar nicht zu	Triff voll zu
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Seite 06

Wählen Sie jeweils den Punkt auf der Skala aus, der am ehesten Ihren Umgang mit elektronischen Geräten beschreibt.

Triff gar nicht zu	Triff voll zu			
1	2	3	4	5

Elektronische Geräte erhöhen die Sicherheit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Elektronische Geräte verringern den persönlichen Kontakt zwischen den Menschen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Elektronische Geräte ermöglichen einen hohen Lebensstandard	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Es fällt mir leicht, die Bedienung eines elektronischen Gerätes zu erlernen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich bin begeistert, wenn ein neues elektronisches Gerät auf den Markt kommt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Elektronische Geräte verursachen Stress	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Elektronische Geräte helfen, an Informationen zu gelangen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Elektronische Geräte erleichtern mir den Alltag	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Elektronische Geräte machen krank	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Elektronische Geräte machen vieles unständlicher	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich kenne mich im Bereich elektronische Geräte gut aus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Es macht mir Spaß, ein elektronisches Gerät auszuprobieren	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich kenne die meisten Funktionen der Geräte, die ich besitze	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich habe bzw. hätte Verständnisprobleme beim Lesen von Elektro- und Computerschriften	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Elektronische Geräte führen zu geistiger Verarmung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich liebe es, neue elektronische Geräte zu besitzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich informiere mich über elektronische Geräte, auch wenn ich keine Kaufabsicht habe	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Elektronische Geräte machen unabhängig	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich gehe gerne in den Fachhandel für elektronische Geräte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Letzte Seite

1. Probanden ID:

Fragebogen FFT1 / Text lesen

Seite 02
SAGAT 2

2. An welcher Kreuzung befinden Sie sich?

☐ A

☐ D

☐ F

☐ Weiß nicht

3. Wie schnell fahren Sie gerade?

km/h:

☐ 0-5

☐ 6-10

☐ 11-15

☐ 16-20

☐ 21-25

☐ 26-30

☐ 31-35

☐ 36-40

☐ 41-45

☐ 46-50

☐ 51-55

☐ 56-60

☐ Weiß nicht

4. Wie hoch ist die Geschwindigkeitsbegrenzung?

km/h:

☐ 10

☐ 20

☐ 30

☐ 40

☐ 50

☐ 60

☐ Weiß nicht

5. Gibt es Fahrbahnmarkierungen auf der Fahspur?

☐ Ja, Zebrastrahlen

☐ Ja, Richtungspfeile

☐ Nein

☐ Weiß nicht

6. Gibt es Ampeln?

☐ Ja

☐ Nein

☐ Weiß nicht

7. Welche Verkehrsteilnehmer gibt es außer Ihnen?

Anzahl der Autos:

☐ 0

☐ 1

☐ 2

☐ 3

☐ 4

☐ Weiß nicht

Anzahl der Fußgänger:

- ☐ 0
- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ Weiß nicht

8. Befindet sich ein Fahrzeug vor Ihnen?

Falls ja, fährt es:

- ☐ Nein
- ☐ Ja, angemessen
- ☐ Ja, zu langsam
- ☐ Ja, zu schnell
- ☐ Weiß nicht

9. Welches Auto würde bei einer Mischung der Vorfahrtenregel einen Unfall verursachen?

- ☐ Blau
- ☐ Rot
- ☐ Gelb
- ☐ Grün
- ☐ Schwarz
- ☐ Weiß
- ☐ Keins
- ☐ Weiß nicht
- ☐ Eigenes Fahrzeug

10. Wie viele Menschen hungern in Brasilien?

- Anzahl in Millionen
- ☐ 32 Millionen
- ☐ 46 Millionen
- ☐ 55 Millionen
- ☐ Weiß nicht

11. In welcher Form engagieren sich die Häftlinge in den neuen Gefängnissen von Rio de Janeiro?

- ☐ Verzicht einer Mahlzeit
- ☐ Wöchentliches Kochen
- ☐ Kultivieren von Lebensmitteln
- ☐ Weiß nicht

12. Die brasilianische Fußballmannschaft trug bei der Überreichung des Siegespokals bei der WM Bänder der Solidarität um die Handgelenke. Welche Farbe hatten Sie?

- ☐ Gelb
- ☐ Grün
- ☐ Blau
- ☐ Weiß nicht

13. Herbert de Souza ist Friedensnobelpreisträger?

- ☐ Richtig
- ☐ Falsch
- ☐ Weiß nicht

14. Herbert de Souza leidet unter AIDS.

- ☐ Richtig
- ☐ Falsch
- ☐ Weiß nicht

15. Wie wird Herbert de Souza noch genannt?

- Name:
- ☐ Roberto
- ☐ Beirho
- ☐ Tiago
- ☐ Weiß nicht

16. Der Briefträger legt alle Post in einem leeren Haus am Hang ab.

- ☐ Richtig
- ☐ Falsch
- ☐ Weiß nicht

17. Esabean, der Papiersammler aus Pavãozinho, pflegt einen engen Kontakt zu den „Reichen“.

- ☐ Richtig
- ☐ Falsch
- ☐ Weiß nicht

18. Was ist der Eintrittspreis für einen Besuch zu dem Auftritt von Beirinho?

- ☐ 1 Kilogramm Lebensmittel
- ☐ 100 Liter Wasser
- ☐ 1 Sack Kartoffeln
- ☐ Weiß nicht

19. Welche Augenfarbe hat Herbert de Souza?

- ☒ Braun
☐ Grün
☐ Blau
☐ Weiß nicht

Seite 04
NASA 1

Wie beanspruchend empfanden Sie es automatisiert gefahren zu werden und dabei zu lesen?

Der Moment, als die Leinwände schwarz gestellt wurden, zählt nicht dazu.
Bitte setzen Sie für jede der kommenden sechs Skalen einen Punkt.

Geistige Anforderung

Gering
Hoch

Wie viel geistige Anforderung war bei der Informationsaufnahme und bei der Informationsverarbeitung erforderlich (z.B. Denken, Erinnern, Hinschauen ...)?

War die Aufgabe leicht oder anspruchsvoll, einfach oder komplex, erforderte sie hohe Genauigkeit oder ist sie fehler tolerant?

Körperliche Anforderung

Gering
Hoch

Wie viel körperliche Aktivität war erforderlich (z.B. zittern, grinsen, drehen, stauen, aktivieren ...)? War die Aufgabe leicht oder schwer, einfach oder anstrengend, erlosam oder mühselig?

Zeitliche Anforderung

Hoch

Gering

Wie viel Zeitdruck empfinden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt mit dem die Aufgaben oder Aufgabenelemente anfallen? War die Aufgabe langsam und geruhlos oder schnell und hektisch?

Leistung

	Gut	Schlecht
1. Die Qualität der Arbeitsbedingungen	4,2	3,8
2. Die Qualität der Arbeitszeiten	4,5	4,0
3. Die Qualität der Arbeitsinhalte	4,8	4,3
4. Die Qualität der Arbeitsmittel	4,6	4,1
5. Die Qualität der Arbeitsumgebung	4,4	3,9
6. Die Qualität der Arbeitskollegen	4,7	4,2
7. Die Qualität der Arbeitsleiter	4,9	4,4
8. Die Qualität der Arbeitsverfahren	4,3	3,8
9. Die Qualität der Arbeitsorganisation	4,5	4,0
10. Die Qualität der Arbeitskultur	4,6	4,1
11. Die Qualität der Arbeitsentwicklung	4,7	4,2
12. Die Qualität der Arbeitsleistung	4,8	4,3
13. Die Qualität der Arbeitszufriedenheit	4,9	4,4
14. Die Qualität der Arbeitsmotivation	4,7	4,2
15. Die Qualität der Arbeitsloyalität	4,6	4,1
16. Die Qualität der Arbeitsethik	4,5	4,0
17. Die Qualität der Arbeitsverantwortung	4,4	3,9
18. Die Qualität der Arbeitskompetenz	4,3	3,8
19. Die Qualität der Arbeitsflexibilität	4,2	3,7
20. Die Qualität der Arbeitsinnovation	4,1	3,6

Wie zufrieden haben Sie Ihre Meinung nach die vom Versuchsleiter (oder Ihnen selbst) gestellten Ziele erreicht? Wie zufrieden waren Sie mit Ihrer Leistung bei der Verfolgung dieser Ziele?

Anstrengung

Hoch

Gering

Wie hart mussten Sie arbeiten, um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen?

Frustration

Geing
Hoch

Wie unsicher, ermuntert, irritiert, gestresst und verunsichert (von sicher, befriedigt, zufrieden, entspannt und zufrieden mit sich selbst) fühlen Sie sich während der Aufgabe?

Anhang

A31

Seite 13

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Zeitliche Anforderung

☐ Anstrengung

Seite 14

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Zeitliche Anforderung

☐ Frustration

Seite 15

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Anstrengung

☐ Körperliche Anforderung

Seite 16

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Geistige Anforderung

☐ Anstrengung

Seite 17

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Frustration

☐ Geistige Anforderung

Seite 18

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Frustration

☐ Anstrengung

Seite 19

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Körperliche Anforderung

☐ Zeitliche Anforderung

Seite 20

Abschnitt 2

Seite 21
SAGAT 1

20. An welcher Kreuzung befinden Sie sich?

☐ B

☐ F

☐ G

☐ Weiß nicht

21. Wie schnell fahren Sie gerade?

km/h:

☐ 0-5

☐ 6-10

☐ 11-15

☐ 16-20

☐ 21-25

☐ 26-30

☐ 31-35

☐ 36-40

☐ 41-45

☐ 46-50

☐ 51-55

☐ 56-60

☐ Weiß nicht

22. Wie hoch ist die Geschwindigkeitsschranke?

km/h:

☐ 10

☐ 20

☐ 30

☐ 40

☐ 50

☐ 60

☐ Weiß nicht

23. In welchem Sattel befinden Sie sich gerade?

☐ Bornheim

☐ Erkenheim

☐ Hocht

☐ Roddheim

☐ Bornes

☐ Galls

☐ Weiß nicht

24. Gibt es parkende Autos?

☐ Ja

☐ Nein

☐ Weiß nicht

25. Welche Verkehrsteilnehmer gibt es außer Ihnen?

Anzahl der Autos:

- ☐ 0
☐ 1
☐ 2
☐ 3
☐ 4
☐ Weiß nicht

Anzahl der Fußgänger:

- ☐ 0
☐ 1
☐ 2
☐ 3
☐ 4
☐ Weiß nicht

26. Befinden Sie sich in einer Einbahnstraße?

- ☐ Ja
☐ Nein
☐ Weiß nicht

27. Welches Auto würde bei einer Missachtung der Vorfahrtsregel einen Unfall verursachen?

- ☐ Blau
☐ Rot
☐ Gelb
☐ Grün
☐ Schwarz
☐ Weiß
☐ Kein
☐ Weiß nicht
☐ Eigenes Fahrzeug

28. Welchen Test muss der "Protagonist" machen?

- ☐ Schnellschäts-Test
☐ IQ-Test
☐ Demenz-Test
☐ Weiß nicht

29. Bei der Ausführung des Tests muss der "Protagonist" den Papst auf einem Foto wiedererkennen.

- ☐ Richtig
☐ Falsch
☐ Weiß nicht

30. Wen erkennt der "Protagonist" auf dem Wochenmarkt nicht wieder?

- ☐ Arbeitskollege
☐ Freund
☐ Verwandter
☐ Weiß nicht

31. Wie viele Menschen leiden weltweit unter der Alzheimerischen Krankheit?

- Millionen:
☐ 8-10
☐ 6-8
☐ 4-6
☐ Weiß nicht

32. Wir können das menschliche Gehirn in etwa 800 hauchdünne Schichten zerlegen.

- ☐ Richtig
☐ Falsch
☐ Weiß nicht

33. Wie lautet das Zauberwort in der Hirnforschung für die millimetergenaue Angabe der Koordinaten von Regionen des menschlichen Gehirns?

- ☐ Brainwashing
☐ Brainmapping
☐ Brainstorming
☐ Weiß nicht

34. Wie nennt man die Unfähigkeit den Sinn eines Wortes zu erkennen?

- ☐ Sinnerlichkeit
☐ Seelentaubheit
☐ Geistesstabilität
☐ Weiß nicht

35. Für den Ausfall der Spracherkennung machte der Psychiater Carl Wernicke eine Schädigung der linken Hemisphäre verantwortlich.

- ☐ Richtig
☐ Falsch
☐ Weiß nicht

36. Erinnerungen sollen in sogenannten Enggrammen gespeichert sein.

- ☐ Richtig
☐ Falsch
☐ Weiß nicht

37. Neurologe George Hunger konnte mittels der Substanz „Scotophobin“ Ängste von einer Ratte zu anderen Nagern übertragen.

- ☐ Richtig
☐ Falsch
☐ Weiß nicht

Seite 23

Seite 24
SAGAT 3

38. An welcher Kreuzung befinden Sie sich?

- ☐ C
☐ G
☐ J
☐ Weiß nicht

39. Wie schnell fahren Sie gerade?

km/h:

- ☐ 0-5
☐ 6-10
☐ 11-15
☐ 16-20
☐ 21-25
☐ 26-30
☐ 31-35
☐ 36-40
☐ 41-45
☐ 46-50
☐ 51-55
☐ 56-60
☐ Weiß nicht

40. Wie hoch ist die Geschwindigkeitsbegrenzung?

km/h:

- ☐ 10
☐ 20
☐ 30
☐ 40
☐ 50
☐ 60
☐ Weiß nicht

41. Wie viele Fahrsuren gibt es inkl. Gegenverkehr?

- ☐ 0
☐ 1
☐ 2
☐ 3
☐ 4
☐ 5
☐ Weiß nicht

42. Gibt es Fahrbahnmarkierungen auf der Fahrspur?

Wenn ja, tragen Sie diese in die Magnetaufkleber ein

- ☐ Ja, Zebrastreifen
☐ Ja, Richtungspfeile
☐ Nein
☐ Weiß nicht

43. Welche Verkehrsteilnehmer gibt es außer ihnen?

Anzahl der Autos:

- ☐ 0
☐ 1
☐ 2
☐ 3
☐ 4
☐ Weiß nicht

Anzahl der Fußgänger:

- ☐ 0
☐ 1
☐ 2
☐ 3
☐ 4
☐ Weiß nicht

44. Gibt es ein Straßennamenschild an der Kreuzung?

- ☐ Ja
☐ Nein
☐ Weiß nicht

Seite 25
Lern3

45. Die Frühstücksuppe des japanischen Fischers kostete seinen Hausschwein das Leben.

- ☐ Richtig
☐ Falsch
☐ Weiß nicht

46. Wie heißt das Nervengift, das unter anderem auch beim Zosimus aneus (Krabbe) festgestellt wurde?

- ☐ Zinkale
☐ Sackton
☐ Asen
☐ Weiß nicht

47. Der Exakte der Rotalge wird als Gegenmittel für das Gift des Zosimus aneus eingesetzt?

- ☐ Richtig
☐ Falsch
☐ Weiß nicht

48. Der Zosimus aneus (Krabbe) gilt als passiv giftiges Tier?

- ☐ Ja
☐ Nein
☐ Weiß nicht

49. Welche halluzinogene Pflanze hat der kalifornische Student gegessen?

- ☐ Glockenspfl
☐ Stachelpfl
☐ Holzpfl
☐ Weiß nicht

50. Die Freunde des kalifornischen Studenten starben an der halluzinogenen Pflanze.

- ☐ Richtig
☐ Falsch
☐ Weiß nicht

Letzte Seite

1. Probanden ID:

Fragebogen FFT2 / Hörbuch hören

Seite 02
SAGAT 3

2. An welcher Kreuzung befinden Sie sich?

☐ D

☐ I

☐ J

☐ Weiß nicht

3. Wie schnell fahren Sie gerade?

km/h:

☐ 0-5

☐ 6-10

☐ 11-15

☐ 16-20

☐ 21-25

☐ 26-30

☐ 31-35

☐ 36-40

☐ 41-45

☐ 46-50

☐ 51-55

☐ 56-60

☐ Weiß nicht

4. Wie hoch ist die Geschwindigkeitsbegrenzung?

km/h:

☐ 10

☐ 20

☐ 30

☐ 40

☐ 50

☐ 60

☐ Weiß nicht

5. Wie viele Fahrspuren gibt es inkl. Gegenverkehr?

☐ 0

☐ 1

☐ 2

☐ 3

☐ 4

☐ 5

☐ Weiß nicht

6. Gibt es Fahrbahnmarkierungen auf der Fahspur?

Wenn ja, tragen Sie diese in die Magnetleiste ein

☐ Ja, Zebrastreifen

☐ Ja, Richtungspfeile

☐ Nein

☐ Weiß nicht

7. Welche Verkehrsteilnehmer gibst es außer ihnen?

Anzahl der Autos:

☐ 0

☐ 1

☐ 2

☐ 3

☐ 4

☐ Weiß nicht

Anzahl der Fußgänger:

☐ 0

☐ 1

☐ 2

☐ 3

☐ 4

☐ Weiß nicht

8. Gibt es ein Strikennamenschild an der Kreuzung?

☐ Ja

☐ Nein

☐ Weiß nicht

9. Von welchem Anbieter ist der Reisspodcast?

☐ Avigo

☐ Lonely Planet

☐ Marco Polo

☐ Weiß nicht

10. Der größte und berühmteste Nationalpark ist 350 km lang und heißt Kruger Nationalpark.

☐ Richtig

☐ Falsch

☐ Weiß nicht

11. Welchen Drink kann man bei der Jeep Safari im Bauch genießen?

☐ Amaro

☐ Gin Tonic

☐ Rock Shandy

☐ Weiß nicht

12. Welches ist das gefährlichste Tier/Afika?

☐ Elefant

☐ Löwe

☐ Ngorongoro

☐ Weiß nicht

13. Der Fußabdruck eines Elefanten ist so groß wie ein...

☐ Autoreifen

☐ Lenkrad

☐ Frisbee Scheibe

☐ Weiß nicht

14. Welches Tier gehört nicht zu den Big Five?

☐ Büffel

☐ Giraffe

☐ Leopard

☐ Weiß nicht

Abschnitt 2

15. An welcher Kreuzung befinden Sie sich?

☐ F
☐ G
☐ H
☐ Weiß nicht

16. Wie schnell fahren Sie gerade?

km/h:

☐ 0-5
☐ 6-10
☐ 11-15
☐ 16-20
☐ 21-25
☐ 26-30
☐ 31-35
☐ 36-40
☐ 41-45
☐ 46-50
☐ 51-55
☐ 56-60
☐ Weiß nicht

17. Wie hoch ist die Geschwindigkeitsbegrenzung?

km/h:

☐ 10
☐ 20
☐ 30
☐ 40
☐ 50
☐ 60
☐ Weiß nicht

18. Gibt es Fahrbahnmarkierungen auf der Fahrspur?

Wenn ja, tragen Sie diese in die Magnettafel ein

☐ Ja, Zebrastreifen
☐ Ja, Richtungspfeile
☐ Nein
☐ Weiß nicht

19. Gibt es Ampeln?

Wenn ja, tragen Sie diese in die Magnettafel ein.

☐ Ja
☐ Nein
☐ Weiß nicht

20. Welche Verkehrsteilnehmer gibt es außer Ihnen?

Anzahl der Autos:

☐ 0
☐ 1
☐ 2
☐ 3
☐ 4
☐ Weiß nicht

Anzahl der Fußgänger:

☐ 0
☐ 1
☐ 2
☐ 3
☐ 4
☐ Weiß nicht

21. Befindet sich ein Fahrzeug vor Ihnen?

Falls ja, fährt es:

☐ Nein
☐ Ja, argemessen
☐ Ja, zu langsam
☐ Ja, zu schnell
☐ Weiß nicht

22. Welches Auto würde bei einer Missachtung der Vorfahrtregel einen Unfall verursachen?

☐ Blau
☐ Rot
☐ Gelb
☐ Grün
☐ Schwarz
☐ Weiß
☐ Keins
☐ Weiß nicht
☐ Eigenes Fahrzeug

Seite 06
Hören 2

23. Eine Safari Tour mit dem eigenen Auto ist verboten

- ☐ Richtig
☐ Falsch
☐ Weiß nicht

24. Laut dem Ranger ist der Löwe der wahre König des Urwalds?

- ☐ Richtig
☐ Falsch
☐ Weiß nicht

25. Im Taitakama Nationalpark kann man den ältesten Baum der Welt sehen?

- ☐ Richtig
☐ Falsch
☐ Weiß nicht

26. Welchen Füherschein kann man an der Gardenroute machen?

- ☐ Bootsfüherschein
☐ Safari Führerschein
☐ Straßenführerschein
☐ Welt nicht

27. Die Lagunenlandschaft sollte man vermeiden

- ☐ Richtig
☐ Falsch
☐ Weiß nicht

28. Welche Tiere tummeln sich an der Küste von Hermanus?

- ☐ Delfine
☐ Hais
☐ Wale
☐ Weiß nicht

29. Woraus besteht das Horn des Walschneiers?

- ☐ Korallen
☐ Algen
☐ Seefang
☐ Weiß nicht

30. Wie viele Pflanzenarten gibt es von Kapstadt bis Port Elizabeth?

- ☐ 4500
☐ 8600
☐ 7400
☐ Weiß nicht

31. Wie werden die riesigen Bäume genannt?

- ☐ Riesmammutbäume
☐ Wikivocbäume
☐ Karachaburi
☐ Weiß nicht

32. Sind die Holzschnitzarbeiten auf dem Markt aus Südafrika?

- ☐ Ja
☐ Nein
☐ Weiß nicht

33. An welcher Kreuzung befinden Sie sich?

- ☐ A
- ☐ E
- ☐ H
- ☐ Weiß nicht

34. Wie schnell fahren Sie gerade?

- km/h:
- ☐ 0-5
- ☐ 6-10
- ☐ 11-15
- ☐ 16-20
- ☐ 21-25
- ☐ 26-30
- ☐ 31-35
- ☐ 36-40
- ☐ 41-45
- ☐ 46-50
- ☐ 51-55
- ☐ 56-60
- ☐ Weiß nicht

35. Wie hoch ist die Geschwindigkeitsbegrenzung?

- km/h:
- ☐ 10
- ☐ 20
- ☐ 30
- ☐ 40
- ☐ 50
- ☐ 60
- ☐ Weiß nicht

36. In welchem Stadtteil befinden Sie sich gerade?

- ☐ Bornheim
- ☐ Erkrath
- ☐ Hildesheim
- ☐ Rodenham
- ☐ Bornheim
- ☐ Gaildorf
- ☐ Weiß nicht

37. Gibt es parkende Autos?

- ☐ Ja
- ☐ Nein
- ☐ Weiß nicht

38. Welche Verkehrsteilnehmer gibt es außer Ihnen?

Anzahl der Autos:

- ☐ 0
- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ Weiß nicht

Anzahl der Fußgänger:

- ☐ 0
- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ Weiß nicht

39. Befinden Sie sich in einer Einbahnstraße?

- ☐ Ja
- ☐ Nein
- ☐ Weiß nicht

40. Welches Auto würde bei einer Mischung der Vorfahrtregel einen Unfall verursachen?

- ☐ Blau
- ☐ Rot
- ☐ Gelb
- ☐ Grün
- ☐ Schwarz
- ☐ Weiß
- ☐ Kein
- ☐ Weiß nicht
- ☐ Eigenes Fahrzeug

☐ Richtig

☒ Falsch

☐ Weiß nicht

☐ Richtig

☒ Falsch

☐ Weiß nicht

☐ Barrique-Säule

☐ Schokoladensäule

☐ Marmeladensäule

☐ Weig, nicht

☐ 50 Rand
☐ 100 Rand
☐ 200 Rand
☐ Weisß nicht

☐ Richtig

☐ Falsch

☐ Weiß nicht

☐ Richtig

☐ Falsch

☐ Weiß nicht

☐ Chiridat
☐ Golf
☐ Pub
☐ Weist nicht

☐ Richtig

☐ Falsch

☐ Weiß nicht

- ☐ Der Medical Tourism ist in Südafrika sehr populär
- ☐ Schönheitssoperationen sind in Südafrika sehr teuer
- ☐ In Afrika gibt es keine Herzchirurgien
- ☐ Weiß nicht

☐ Richtig

☐ Falsch

☐ Weiß nicht

Der Moment, als die Leinwände schwarz gestellt wurden, zählt nicht dazu.
Bitte setzen Sie für jede der kommenden sechs Skalen einen Punkt.

	Gering		Hoch
Wie viel geistige Anstrengung war bei der Informationsaufnahme und bei der Informationsverarbeitung erforderlich (z.B. Denken, Erinnern, Hinschauen, ...)?	○	○	○

	Gering	Hoch							
	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○								
	Wie viel körperliche Aktivität war erforderlich (z.B. ziehen, drücken, drehen, steuern, aktivieren ...)? War die Aufgabe leicht oder schwer, einfach oder anspruchsvoll, einseitig oder mühselig?								

	Gering	Hoch
Wie viel Zeitdruck empfinden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder Takt mit dem die Aufgaben oder Aufgabenkriterien eintreten? Wie die Aufgabe langsam und geräusam oder schnell und hektisch?	○	○

Gut																			Schlecht
Wie richtig haben Sie Ihre Meinung nach die vom Versuchsleiter (oder Ihnen selbst) gestellten Ziele erreicht? Wie zufrieden waren Sie mit Ihrer Leistung bei der Verfolgung dieser Ziele?																			

[illegible]

	Gering	Hoch
Wie un sicher, unmutig, trübsinnig, pessimistisch, verunsichert, besorgt, besorgt, zufrieden, entspannt und zufrieden (mit sich selbst) fühlen Sie sich während der Aufgabe?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Seite 11

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war (Es folgen 14 weitere Vergleiche).

☐ Leistung

☐ Anstrengung

Seite 12

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Geistige Anforderung

☐ Leistung

Seite 13

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Körperliche Anforderung

☐ Geistige Anforderung

Seite 14

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Leistung

☐ Zeitliche Anforderung

Seite 15

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Zeitliche Anforderung

☐ Geistige Anforderung

Seite 16

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Leistung

☐ Frustration

Seite 17

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Körperliche Anforderung

☐ Frustration

Seite 18

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Körperliche Anforderung

☐ Leistung

Seite 19

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Zeitliche Anforderung

☐ Anstrengung

Seite 20

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Zeitliche Anforderung

☐ Frustration

Seite 21

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Anstrengung

☐ Körperliche Anforderung

Seite 22

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Geistige Anforderung

☐ Anstrengung

Seite 23

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Frustration

☐ Geistige Anforderung

Seite 24

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Frustration

☐ Anstrengung

Seite 25

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Körperliche Anforderung

☐ Zeitliche Anforderung

1. Probanden ID:

Fragebogen FFT3 / Video schauen

Seite 02
SAGAT 1

2. An welcher Kreuzung befinden Sie sich?

- ☐ D
- ☐ F
- ☐ I
- ☐ Weiß, nicht

3. Wie schnell fahren Sie gerade?

- km/h:
- ☐ 0-5
- ☐ 6-10
- ☐ 11-15
- ☐ 16-20
- ☐ 21-25
- ☐ 26-30
- ☐ 31-35
- ☐ 36-40
- ☐ 41-45
- ☐ 46-50
- ☐ 51-55
- ☐ 56-60
- ☐ Weiß, nicht

4. Wie hoch ist die Geschwindigkeitsbegrenzung?

- km/h:
- ☐ 10
- ☐ 20
- ☐ 30
- ☐ 40
- ☐ 50
- ☐ 60
- ☐ Weiß, nicht

5. In welchem Stadtteil befinden Sie sich gerade?

- ☐ Bornheim
- ☐ Erkrath
- ☐ Hacht
- ☐ Rödheim
- ☐ Bornheim
- ☐ Gailus
- ☐ Weiß, nicht

6. Gibt es parkende Autos?

- ☐ Ja
- ☐ Nein
- ☐ Weiß, nicht

7. Welche Verkehrsteilnehmer gibt es außer Ihnen?

Anzahl der Autos:

- ☐ 0
- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ Weiß nicht

Anzahl der Fußgänger:

- ☐ 0
- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ Weiß nicht

8. Befinden Sie sich in einer Einbahnstraße?

- ☐ Ja
- ☐ Nein
- ☐ Weiß nicht

9. Welches Auto würde bei einer Misachtung der Vorfahrregel einen Unfall verursachen?

- ☐ Blau
- ☐ Rot
- ☐ Gelb
- ☐ Grün
- ☐ Schwarz
- ☐ Weiß
- ☐ Kein
- ☐ Weiß nicht
- ☐ Eigenes Fahrzeug

10. Wie viele Beiträge der Sendung werden im Vorspann vorgestellt?

- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ 5
- ☐ weiß nicht

11. Welche Farbe hat das Hemd des Moderators?

- ☐ blau
- ☐ rot
- ☐ gelb
- ☐ Weiß nicht

12. Welche Farbe hat der Kreis, welcher in der Studiokulisse zu sehen ist?

- ☐ blau
- ☐ rot
- ☐ gelb
- ☐ Weiß nicht

13. Was ist in der ersten Szene noch im Hintergrund zu sehen?

- ☐ Atom
- ☐ Satellit
- ☐ Weiskugel
- ☐ Weiß nicht

14. Welche Farbe hat die Flüssigkeit der Speichertechnik (im Modellmaßstab), die im Labor zu sehen war?

- ☐ neongelb
- ☐ pink
- ☐ gelbgrün
- ☐ Weiß nicht

15. Was unterscheidet das Kuferruhr Verfahren von den Konventionellen?

- ☐ höhere Stromstärke
- ☐ höherer Wirkungsgrad
- ☐ niedriger Wirkungsgrad
- ☐ Weiß nicht

16. Zur Herstellung des synthetischen Kraftstoffes werden bei Sunfire in Dresden Strom, CO2 und Wasser genutzt.

- ☐ Richtig
- ☐ Falsch
- ☐ Weiß nicht

17. In welchem Land soll die erste Anlage für synthetischen Diesel entstehen?

- ☐ Dänemark
- ☐ Schweden
- ☐ Norwegen
- ☐ Weiß nicht

18. Zum jetzigen Zeitpunkt haben wir ein gutes an erneuerbaren Energien im Stromnetz.

- ☐ Viel
☐ Fort
☐ Mittel
☐ Wenig

19. Auch in Zukunft ist der Einsatz von Speichern für erneuerbare Energien überbewertet.

- ☐ Richtig
☐ Falsch
☐ Weiß nicht

Seite 04

Abschnitt 2

Seite 05
SAGAT 3

20. An welcher Kreuzung befinden Sie sich?

- ☐ A
☐ F
☐ G
☐ Weiß nicht

21. Wie schnell fahren Sie gerade?

km/h:

- ☐ 0-5
☐ 6-10
☐ 11-15
☐ 16-20
☐ 21-25
☐ 26-30
☐ 31-35
☐ 36-40
☐ 41-45
☐ 46-50
☐ 51-55
☐ 56-60
☐ Weiß nicht

22. Wie hoch ist die Geschwindigkeitsbegrenzung?

km/h:

- ☐ 10
☐ 20
☐ 30
☐ 40
☐ 50
☐ 60
☐ Weiß nicht

23. Wie viele Fahrspuren gibt es inkl. Gegenverkehr?

- ☐ 0
☐ 1
☐ 2
☐ 3
☐ 4
☐ 5
☐ Weiß nicht

24. Gibt es Fahrbahnmarkierungen auf der Fahrspur?

Wenn ja, tragen Sie diese in die Magnetafel ein.

- ☐ Ja, Zebrastreifen
☐ Ja, Richtungspfeile
☐ Nein
☐ Weiß nicht

Wie sind die Ampeln in Ihre Richtung geschaltet?
Tragen Sie diese in die Magnetafel ein.

25. Welche Verkehrsteilnehmer gibt es außer ihnen?

Anzahl der Autos:

- ☐ 0
☐ 1
☐ 2
☐ 3
☐ 4
☐ Weiß nicht

Anzahl der Fußgänger:

- ☐ 0
☐ 1
☐ 2
☐ 3
☐ 4
☐ Weiß nicht

26. Gibt es ein Straßennamenschild an der Kreuzung?

- ☐ Ja
☐ Nein
☐ Weiß nicht

Seite 06
Werte 2

27. Die Bakterien in unserem Körper wiegen so viel wie unser Gehirn (1350g).

- ☐ Richtig
☐ Falsch
☐ Weiß nicht

28. Welche Gemüsesorte wird zu Anfang des zweiten Beitrages gezeigt?

- ☐ Möhre
☐ Gurke
☐ Paprika
☐ Weiß nicht

29. Wo befinden sich die Bakterien, um welche es sich im zweiten Beitrag handelt, in unserem Körper?

- ☐ Mund
☐ Darm
☐ Hand
☐ Weiß nicht

30. Als Versuchstiere wurden Hamster genommen?

- ☐ Richtig
☐ Falsch
☐ Weiß nicht

31. Die Bakterien wurden den Versuchstieren mittels Spritzen zugeführt?

- ☐ Richtig
☐ Falsch
☐ Weiß nicht

32. Für die Versuche wurden bewusst nur Albino-Tiere ausgewählt.

- ☐ Richtig
☐ Falsch
☐ Weiß nicht

Seite 07

33. An welcher Kreuzung befinden Sie sich?

- ☐ D
☐ H
☐ J
☐ Weiß nicht

34. Wie schnell fahren Sie gerade?

- km/h:
☐ 0-5
☐ 6-10
☐ 11-15
☐ 16-20
☐ 21-25
☐ 26-30
☐ 31-35
☐ 36-40
☐ 41-45
☐ 46-50
☐ 51-55
☐ 56-60
☐ Weiß nicht

35. Wie hoch ist die Geschwindigkeitsbegrenzung?

- km/h:
☐ 10
☐ 20
☐ 30
☐ 40
☐ 50
☐ 60
☐ Weiß nicht

36. Gibt es Fahrbahnmarkierungen auf der Fahrspur?

Wenn ja, tragen Sie diese in die Magnettafel ein

- ☐ Ja, Zebrastreifen
☐ Ja, Richtungspfeile
☐ Nein
☐ Weiß nicht

37. Gibt es Ampeln?

Wenn ja, tragen Sie diese in die Magnettafel ein.

- ☐ Ja
☐ Nein
☐ Weiß nicht

38. Welche Verkehrsteilnehmer gibt es außer Ihnen?

- Anzahl der Autos:
☐ 0
☐ 1
☐ 2
☐ 3
☐ 4
☐ Weiß nicht

Anzahl der Fußgänger:

- ☐ 0
☐ 1
☐ 2
☐ 3
☐ 4
☐ Weiß nicht

39. Befindet sich ein Fahrzeug vor Ihnen?

Falls ja, fährt es:

- ☐ Nein
☐ Ja, argemessen
☐ Ja, zu langsam
☐ Ja, zu schnell
☐ Weiß nicht

40. Welches Auto würde bei einer Missachtung der Vorfahrtregel einen Unfall verursachen?

- ☐ Blau
☐ Rot
☐ Gelb
☐ Grün
☐ Schwarz
☐ Grau
☐ Weiss
☐ Weiss nicht
☐ Eigenes Fahrzeug

☐ rot
☐ braun
☐ blond
☐ Weis nicht

☐ Ja

☐ Nein

☐ Weiß nicht

☐ Ja

☐ Nein

☐ Weiß nicht

☒ Richtig

☐ Falsch

☐ Weiß nicht

☐ Richtig

☐ Falsch

☐ Weiß nicht

☐ Frotte
☐ Lachs
☐ Donats
☐ Wasst, nicht

☐ Horoskope
☐ Zeitreisen
☐ Kryptos
☐ Was? nicht

☐ Wald
☐ Park
☐ Schrebergarten
☐ Weist nicht

Anzahl:

☐ 1

☐ 2

☐ 3

☐ Weis nicht

- ☐ Römische Legion
- ☐ Miltarierheit
- ☐ Sonderinsatzommando
- ☐ Weiß nicht

Der Moment, als die Leinwände schwarz gestellt wurden, zählt nicht dazu.
Bitte setzen Sie für jede der kommenden sechs Skalen einen Punkt.

Gering											Hoch
Wie viel geistige Anforderung ver bei der Informationsaufnahme und bei der Informationsverarbeitung erforderlich (z.B. Bewerten, Erinnern, Hissenen, ...) ?											
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wie komplex und anspruchsvoll, einfach oder komplex, erfordert sie hohe Genauigkeit oder ist sie fehler tolerant?											

[illegible]

Wie viel Zeitdruck empfinden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt mit dem die Aufgaben oder Aufgabenbereiche auftraten? War die Aufgabe langsam und geräusam oder schnell und hektisch?

[illegible]

Gering		Hoch
	Wie hart mussten Sie arbeiten, um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen?	

Wie unseher, einmüdig, irritiert,
geärgert und verärgert (versus sicher,
begeistert, zufrieden, entspannt und
zufrieden mit sich selbst) fühlen Sie
sich während der Aufgabe?

Gering Hoch

Seite 11

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war (Es folgen 14 weitere Vergleiche).

☐ Leistung

☐ Anstrengung

Seite 12

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Geistige Anforderung

☐ Leistung

Seite 13

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Körperliche Anforderung

☐ Geistige Anforderung

Seite 14

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Leistung

☐ Zeitliche Anforderung

Seite 15

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Zeitliche Anforderung

☐ Geistige Anforderung

Seite 16

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Leistung

☐ Frustration

Seite 17

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Körperliche Anforderung

☐ Frustration

Seite 18

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Körperliche Anforderung

☐ Leistung

Seite 19

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Zeitliche Anforderung

☐ Anstrengung

Seite 20

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Zeitliche Anforderung

☐ Frustration

Seite 21

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Anstrengung

☐ Körperliche Anforderung

Seite 22

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Geistige Anforderung

☐ Anstrengung

Seite 23

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Frustration

☐ Geistige Anforderung

Seite 24

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Frustration

☐ Anstrengung

Seite 25

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Körperliche Anforderung

☐ Zeitliche Anforderung

1. Probanden ID:

Fragebogen FFT4 / Texting

Seite 02
SA GAT 2

2. An welcher Kreuzung befinden Sie sich?

☐ B

☐ C

☐ F

☐ Weiß nicht

3. Wie schnell fahren Sie gerade?

km/h:

☐ 0-5

☐ 6-10

☐ 11-15

☐ 16-20

☐ 21-25

☐ 26-30

☐ 31-35

☐ 36-40

☐ 41-45

☐ 46-50

☐ 51-55

☐ 56-60

☐ Weiß nicht

4. Wie hoch ist die Geschwindigkeitsbegrenzung?

km/h:

☐ 10

☐ 20

☐ 30

☐ 40

☐ 50

☐ 60

☐ Weiß nicht

5. Gibt es Fahrbahnmarkierungen auf der Fahspur?

Wenn ja, tragen Sie diese in die Magnettafel ein

☐ Ja, Zebrastreifen

☐ Ja, Richtungspfeile

☐ Nein

☐ Weiß nicht

6. Gibt es Ampeln?

Wenn ja, tragen Sie diese in die Magnettafel ein.

☐ Ja

☐ Nein

☐ Weiß nicht

7. Welche Verkehrsteilnehmer gibt es außer Ihnen?

Anzahl der Autos:

☐ 0

☐ 1

☐ 2

☐ 3

☐ 4

☐ Weiß nicht

Anzahl der Fußgänger:

☐ 0

☐ 1

☐ 2

☐ 3

☐ 4

☐ Weiß nicht

8. Befindet sich ein Fahrzeug vor Ihnen?
Falls ja, fährt es:

☐ Nein

☐ Ja, angemessen

☐ Ja, zu langsam

☐ Ja, zu schnell

☐ Weiß nicht

9. Welches Auto würde bei einer Missachtung der Vorfahrtsregel einen Unfall verursachen?

☐ Blau

☐ Rot

☐ Gelb

☐ Grün

☐ Schwarz

☐ Weiß

☐ Kein

☐ Weiß nicht

☐ Eigenes Fahrzeug

Abschnitt 2

Seite 03

10. An welcher Kreuzung befinden Sie sich?

☐ C

☐ F

☐ I

☐ Weiß nicht

11. Wie schnell fahren Sie gerade?

km/h:

☐ 0-5

☐ 6-10

☐ 11-15

☐ 16-20

☐ 21-25

☐ 26-30

☐ 31-35

☐ 36-40

☐ 41-45

☐ 46-50

☐ 51-55

☐ 56-60

☐ Weiß nicht

12. Wie hoch ist die Geschwindigkeitsbegrenzung?

km/h:

☐ 10

☐ 20

☐ 30

☐ 40

☐ 50

☐ 60

☐ Weiß nicht

13. Wie viele Fahrspuren gibt es inkl. Gegenverkehr?

☐ 0

☐ 1

☐ 2

☐ 3

☐ 4

☐ 5

☐ Weiß nicht

14. Gibt es Fahnhahnmakierungen auf der Fahrspur?
Wenn ja, tragen Sie dass in die Magnettafel ein

☐ Ja, Zebrastreifen

☐ Ja, Richtungspfeile

☐ Nein

☐ Weiß nicht

Seite 04
SAGAT 3

10. An welcher Kreuzung befinden Sie sich?

☐ C

☐ F

☐ I

☐ Weiß nicht

11. Wie schnell fahren Sie gerade?

km/h:

☐ 0-5

☐ 6-10

☐ 11-15

☐ 16-20

☐ 21-25

☐ 26-30

☐ 31-35

☐ 36-40

☐ 41-45

☐ 46-50

☐ 51-55

☐ 56-60

☐ Weiß nicht

12. Wie hoch ist die Geschwindigkeitsbegrenzung?

km/h:

☐ 10

☐ 20

☐ 30

☐ 40

☐ 50

☐ 60

☐ Weiß nicht

13. Wie viele Fahrspuren gibt es inkl. Gegenverkehr?

☐ 0

☐ 1

☐ 2

☐ 3

☐ 4

☐ 5

☐ Weiß nicht

14. Gibt es Fahnhahnmakierungen auf der Fahrspur?
Wenn ja, tragen Sie dass in die Magnettafel ein

☐ Ja, Zebrastreifen

☐ Ja, Richtungspfeile

☐ Nein

☐ Weiß nicht

Seite 07	Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war	<div><div><input type="radio"/> Geistige Anforderung</div><div><input type="radio"/> Leistung</div></div>
Seite 08	Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war	<div><div><input type="radio"/> Körperliche Anforderung</div><div><input type="radio"/> Geistige Anforderung</div></div>
Seite 09	Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war	<div><div><input type="radio"/> Leistung</div><div><input type="radio"/> Zeitliche Anforderung</div></div>
Seite 10	Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war	<div><div><input type="radio"/> Zeitliche Anforderung</div><div><input type="radio"/> Geistige Anforderung</div></div>
Seite 11	Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war	<div><div><input type="radio"/> Leistung</div><div><input type="radio"/> Frustration</div></div>
Seite 12	Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war	<div><div><input type="radio"/> Körperliche Anforderung</div><div><input type="radio"/> Frustration</div></div>
Seite 13	Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war	<div><div><input type="radio"/> Körperliche Anforderung</div><div><input type="radio"/> Leistung</div></div>
Seite 14	Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war	<div><div><input type="radio"/> Zeitliche Anforderung</div><div><input type="radio"/> Anstrengung</div></div>

Seite 15	Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war	<div><div><input type="radio"/> Zeitliche Anforderung</div><div><input type="radio"/> Frustration</div></div>
Seite 16	Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war	<div><div><input type="radio"/> Anstrengung</div><div><input type="radio"/> Körperliche Anforderung</div></div>
Seite 17	Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war	<div><div><input type="radio"/> Geistige Anforderung</div><div><input type="radio"/> Anstrengung</div></div>
Seite 18	Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war	<div><div><input type="radio"/> Frustration</div><div><input type="radio"/> Geistige Anforderung</div></div>
Seite 19	Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war	<div><div><input type="radio"/> Frustration</div><div><input type="radio"/> Anstrengung</div></div>
Seite 20	Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war	<div><div><input type="radio"/> Körperliche Anforderung</div><div><input type="radio"/> Zeitliche Anforderung</div></div>
Seite 21		

17. An welcher Kreuzung befinden Sie sich?

- ☐ B
- ☐ E
- ☐ G
- ☐ Weiß nicht

18. Wie schnell fahren Sie gerade?

- km/h:
- ☐ 0-5
- ☐ 6-10
- ☐ 11-15
- ☐ 16-20
- ☐ 21-25
- ☐ 26-30
- ☐ 31-35
- ☐ 36-40
- ☐ 41-45
- ☐ 46-50
- ☐ 51-55
- ☐ 56-60
- ☐ Weiß nicht

19. Wie hoch ist die Geschwindigkeitsbegrenzung?

- km/h:
- ☐ 10
- ☐ 20
- ☐ 30
- ☐ 40
- ☐ 50
- ☐ 60
- ☐ Weiß nicht

20. In welchem Stadtteil befinden Sie sich gerade?

- ☐ Bornheim
- ☐ Erkrath
- ☐ Hildorf
- ☐ Hückelhoven
- ☐ Bornheim
- ☐ Gaildorf
- ☐ Weiß nicht

21. Gibt es parkende Autos?

- ☐ Ja
- ☐ Nein
- ☐ Weiß nicht

22. Welche Verkehrsteilnehmer gibt es außer Ihnen?

Anzahl der Autos:

- ☐ 0
- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ Weiß nicht

Anzahl der Fußgänger:

- ☐ 0
- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ Weiß nicht

23. Befinden Sie sich in einer Einbahnstraße?

- ☐ Ja
- ☐ Nein
- ☐ Weiß nicht

24. Welches Auto würde bei einer Mischung der Vorfahrtregel einen Unfall verursachen?

- ☐ Blau
- ☐ Rot
- ☐ Gelb
- ☐ Grün
- ☐ Schwarz
- ☐ Weiß
- ☐ Kein
- ☐ Weiß nicht
- ☐ Eigenes Fahrzeug

1. Probanden ID:

Fragebogen FFT5 / Fahrt beobachten

Seite 02
SB 1

2. An welcher Kreuzung befinden Sie sich?

- ☐ C
- ☐ E
- ☐ I
- ☐ Weiß, nicht

3. Wie schnell fahren Sie gerade?

- km/h:
- ☐ 0-5
 - ☐ 6-10
 - ☐ 11-15
 - ☐ 16-20
 - ☐ 21-25
 - ☐ 26-30
 - ☐ 31-35
 - ☐ 36-40
 - ☐ 41-45
 - ☐ 46-50
 - ☐ 51-55
 - ☐ 56-60
 - ☐ Weiß, nicht

4. Wie hoch ist die Geschwindigkeitsbegrenzung?

- km/h:
- ☐ 10
 - ☐ 20
 - ☐ 30
 - ☐ 40
 - ☐ 50
 - ☐ 60
 - ☐ Weiß, nicht

5. In welchem Stadtteil befinden Sie sich gerade?

- ☐ Bornheim
- ☐ Erkrath
- ☐ Hacht
- ☐ Rödgen
- ☐ Bornheim
- ☐ Gailus
- ☐ Weiß, nicht

6. Gibt es parkende Autos?

- ☐ Ja
- ☐ Nein
- ☐ Weiß, nicht

7. Welche Verkehrsteilnehmer gibt es außer Ihnen?

Anzahl der Autos:

<input type="radio"/> 0	
<input type="radio"/> 1	
<input type="radio"/> 2	
<input type="radio"/> 3	
<input type="radio"/> 4	
<input type="radio"/> Weiß nicht	

Anzahl der Fußgänger:

<input type="radio"/> 0	
<input type="radio"/> 1	
<input type="radio"/> 2	
<input type="radio"/> 3	
<input type="radio"/> 4	
<input type="radio"/> Weiß nicht	

8. Befinden Sie sich in einer Einbahnstraße?

<input type="radio"/> Ja	
<input type="radio"/> Nein	
<input type="radio"/> Weiß nicht	

9. Welches Auto würde bei einer Missachtung der Vorfahrtsregel einen Unfall verursachen?

<input type="radio"/> Blau	
<input type="radio"/> Rot	
<input type="radio"/> Gelb	
<input type="radio"/> Grün	
<input type="radio"/> Schwarz	
<input type="radio"/> Weiß	
<input type="radio"/> Kein	
<input type="radio"/> Weiß nicht	
<input type="radio"/> Eigenes Fahrzeug	

Abschnitt 2

10. An welcher Kreuzung befinden Sie sich?

<input type="radio"/> D	
<input type="radio"/> F	
<input type="radio"/> J	
<input type="radio"/> Weiß nicht	

11. Wie schnell fahren Sie gerade?

km/h:	
<input type="radio"/> 0-5	
<input type="radio"/> 6-10	
<input type="radio"/> 11-15	
<input type="radio"/> 16-20	
<input type="radio"/> 21-25	
<input type="radio"/> 26-30	
<input type="radio"/> 31-35	
<input type="radio"/> 36-40	
<input type="radio"/> 41-45	
<input type="radio"/> 46-50	
<input type="radio"/> 51-55	
<input type="radio"/> 56-60	
<input type="radio"/> Weiß nicht	

12. Wie hoch ist die Geschwindigkeitsbegrenzung?

km/h:	
<input type="radio"/> 10	
<input type="radio"/> 20	
<input type="radio"/> 30	
<input type="radio"/> 40	
<input type="radio"/> 50	
<input type="radio"/> 60	
<input type="radio"/> Weiß nicht	

13. Gibt es Fahrbahnmarkierungen auf der Fahrspur?

Wenn ja, tragen Sie diese in die Magnettafel ein

<input type="radio"/> Ja, Zeitzustellen	
<input type="radio"/> Ja, Richtungspfeile	
<input type="radio"/> Nein	
<input type="radio"/> Weiß nicht	

14. Gibt es Ampeln?

Wenn ja, tragen Sie diese in die Magnettafel ein.

<input type="radio"/> Ja	
<input type="radio"/> Nein	
<input type="radio"/> Weiß nicht	

15. Welche Verkehrsteilnehmer gibt es außer Ihnen?

Anzahl der Autos:	
<input type="radio"/> 0	
<input type="radio"/> 1	
<input type="radio"/> 2	
<input type="radio"/> 3	
<input type="radio"/> 4	
<input type="radio"/> Weiß nicht	

Anzahl der Fußgänger:

☐ 0

☐ 1

☐ 2

☐ 3

☐ 4

☐ Weis nicht

16. Befindet sich ein Fahrzeug vor Ihnen?
Falls ja, fährt es:

☐ Nein

☐ Ja, angemessen

☐ Ja, zu langsam

☐ Ja, zu schnell

☐ Weis nicht

17. Welches Auto würde bei einer Mischung der Vorfahrsgel einen Unfall verursachen?

☐ Blau

☐ Rot

☐ Gelb

☐ Grün

☐ Schwarz

☐ Grau

☐ Keine

☐ Weis nicht

☐ Eignes Fahrzeug

Seite 05

Wie beanspruchend empfanden Sie es automatisiert gefahren zu werden?

Der Moment, als die Leinwände schwarz gestellt wurden, zählt nicht dazu.

Bitte setzen Sie für jede der kommenden sechs Skalen einen Punkt:

Geistige Anforderung

Gering	Hoch
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Wie viel geistige Anforderung war bei der Informationsaufnahme und bei der Informationsverarbeitung erforderlich (z.B. Denken, Erinnern, Hinhören, ...)?
War die Aufgabenstellung komplex oder einfach?
Erfordert sie hohe Genauigkeit oder ist sie fehlertolerant?

Körperliche Anforderung

Gering	Hoch
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Wie viel körperliche Aktivität war erforderlich (z.B. zielen, drücken, greifen, schießen, ...)?
Aufgabe leicht, mittel, schwierig oder anspruchsvoll?
Anstrengend, ermüdend oder mühselig?

Zeitliche Anforderung

Gering	Hoch
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Wie viel Zeitdruck empfanden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Ausmaß des Geschehenes?
Aufgabenstellung zufrieden? Wie die Aufgabe langsam und geräuschlos oder schnell und hektisch?

Leistung

Gut	Schlecht
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Wie erfolgreich haben Sie Ihre Meinung nach die vom Versuchsleiter (oder Sachverständigen) gesetzten Leistungsziele erreicht?
Wie beurteilen Sie mit Ihrer Leistung bei der Verfügung dieser Ziele?

Anregung

Gering	Hoch
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Wie hart mussten Sie arbeiten, um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen?

Frustration

Gering	Hoch
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Wie unruhig, erregt, irritiert, gereizt und verärgert (versus sicher, beständig, zufrieden, entspannt und sich selbst) fühlen Sie sich während der Aufgabe?

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der beiden durchgeführten Aufgaben bedeutsamer war (Es folgen 14 weitere Vergleiche).

☐ Leistung

☐ Anstrengung

Seite 07

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Geistige Anforderung

☐ Leistung

Seite 08

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Körperliche Anforderung

☐ Geistige Anforderung

Seite 09

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Leistung

☐ Zeitliche Anforderung

Seite 10

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Zeitliche Anforderung

☐ Geistige Anforderung

Seite 11

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Leistung

☐ Frustration

Seite 12

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Körperliche Anforderung

☐ Frustration

Seite 13

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Körperliche Anforderung

☐ Leistung

Seite 14

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Zeitliche Anforderung

☐ Anstrengung

Seite 15

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Zeitliche Anforderung

☐ Frustration

Seite 16

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Anstrengung

☐ Körperliche Anforderung

Seite 17

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Geistige Anforderung

☐ Anstrengung

Seite 18

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Frustration

☐ Geistige Anforderung

Seite 19

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Frustration

☐ Anstrengung

Seite 20

Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war

☐ Körperliche Anforderung

☐ Zeitliche Anforderung

Seite 21

18. An welcher Kreuzung befinden Sie sich?

- ☐ D
- ☐ F
- ☐ I
- ☐ Weiß nicht

19. Wie schnell fahren Sie gerade?

- km/h:
- ☐ 0-5
 - ☐ 6-10
 - ☐ 11-15
 - ☐ 16-20
 - ☐ 21-25
 - ☐ 26-30
 - ☐ 31-35
 - ☐ 36-40
 - ☐ 41-45
 - ☐ 46-50
 - ☐ 51-55
 - ☐ 56-60
 - ☐ Weiß nicht

20. Wie hoch ist die

Geschwindigkeitsbegrenzung?

- km/h:
- ☐ 10
 - ☐ 20
 - ☐ 30
 - ☐ 40
 - ☐ 50
 - ☐ 60
 - ☐ Weiß nicht

21. Wie viele Fahrspuren gibt es inkl. Gegenverkehr?

- ☐ 0
- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ 5
- ☐ Weiß nicht

22. Gibt es Fahrbahnmarkierungen auf der Fahrspur?

Wenn ja, tragen Sie diese in die Magnettafel ein

- ☐ Ja, Zebrastreifen
- ☐ Ja, Richtungspfeile
- ☐ Nein
- ☐ Weiß nicht

23. Welche Verkehrsteilnehmer gibt es außer Ihnen?

Anzahl der Autos:

- ☐ 0
- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ Weiß nicht

Anzahl der Fußgänger:

- ☐ 0
- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ Weiß nicht

24. Gibt es ein Straßennamenschild an der Kreuzung?

- ☐ Ja
- ☐ Nein
- ☐ Weiß nicht

Seite 11	Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soeben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war	
	<input checked="" type="radio"/> Zeitliche Anforderung	<input type="radio"/> Anstrengung

Seite 12	Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soeben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war	
	<input checked="" type="radio"/> Zeitliche Anforderung	<input type="radio"/> Frustration

Seite 13	Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soeben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war	
	<input checked="" type="radio"/> Anstrengung	<input type="radio"/> Körperliche Anforderung

Seite 14	Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soeben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war	
	<input checked="" type="radio"/> Geistliche Anforderung	<input type="radio"/> Anstrengung

Seite 15	Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soeben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war	
	<input checked="" type="radio"/> Frustration	<input type="radio"/> Geistliche Anforderung

Seite 16	Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soeben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war	
	<input checked="" type="radio"/> Frustration	<input type="radio"/> Anstrengung

Seite 17	Klicken Sie auf einer der beiden Beanspruchungsgrößen, die für Sie hinsichtlich der soeben durchgeführte Aufgabe bedeutsamer war	
	<input checked="" type="radio"/> Körperliche Anforderung	<input type="radio"/> Zeitliche Anforderung

Seite 18									
Wie empfanden Sie die automatisierte Fahrt?									
	Trifft gar nicht zu		Trifft eher nicht zu		Trifft eher zu		Trifft voll zu		keine Angabe
Im reinen Straßenverkehr hätte ich mich in einem automatisiert fahrenden Fahrzeug anders verhalten	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Die Immersion (Eintauchen in die Simulation*) ist mir leicht gefallen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Die Simulation hatte einen hohen Echtheitsgrad	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wählen Sie jeweils den Punkt auf der Skala aus, der am ehesten Ihr Vertrauen mit automatisierten Systemen beschreibt.									
	Stimme gar nicht zu	Stimme eher nicht zu	Stimme noch nicht zu	Stimme eher zu	Stimme voll zu	keine Angabe			
Ich kann mich auf das System verlassen.	0	0	0	0	0	0			
Das System könnte stellenweise einen Fehler machen.	0	0	0	0	0	0			
Ich habe ähnliche Systeme bereits genutzt.	0	0	0	0	0	0			
Mir war durchgehend klar, in welchem Zustand sich das System befindet.	0	0	0	0	0	0			
Ein Ausfall des Systems ist wahrscheinlich.	0	0	0	0	0	0			
Bei unbekannten automatisierten Systemen sollte man eher vorsichtig sein.	0	0	0	0	0	0			
Automatisierte Systeme funktionieren generell gut.	0	0	0	0	0	0			
Die Entwickler nehmen mein Vorgehen ernst.	0	0	0	0	0	0			
Ich vertraue einem System eher, als dass ich ihm misstraue.	0	0	0	0	0	0			
Das System ist in solche Situationen richtig einzuschätzen.	0	0	0	0	0	0			
Das System kann wirklich komplizierte Aufgaben übernehmen.	0	0	0	0	0	0			
Ich konnte nachvollziehen, warum etwas passiert ist.	0	0	0	0	0	0			
Ich vertraue dem System.	0	0	0	0	0	0			
Das System arbeitet zuverlässig.	0	0	0	0	0	0			
Ich bin überzeugt von den Fähigkeiten des Systems.	0	0	0	0	0	0			
Ich kenne bereits ähnliche Systeme.	0	0	0	0	0	0			
Das System reagiert unvorhersehbar.	0	0	0	0	0	0			
Die Entwickler sind vertrauenswürdig.	0	0	0	0	0	0			
Zu erkennen, was das System als Nächstes macht, ist schwer.	0	0	0	0	0	0			

H Weitere Ergebnisse Hauptstudie

Mentale Beanspruchung

Subjektives Beanspruchungsempfinden: NASA TLX

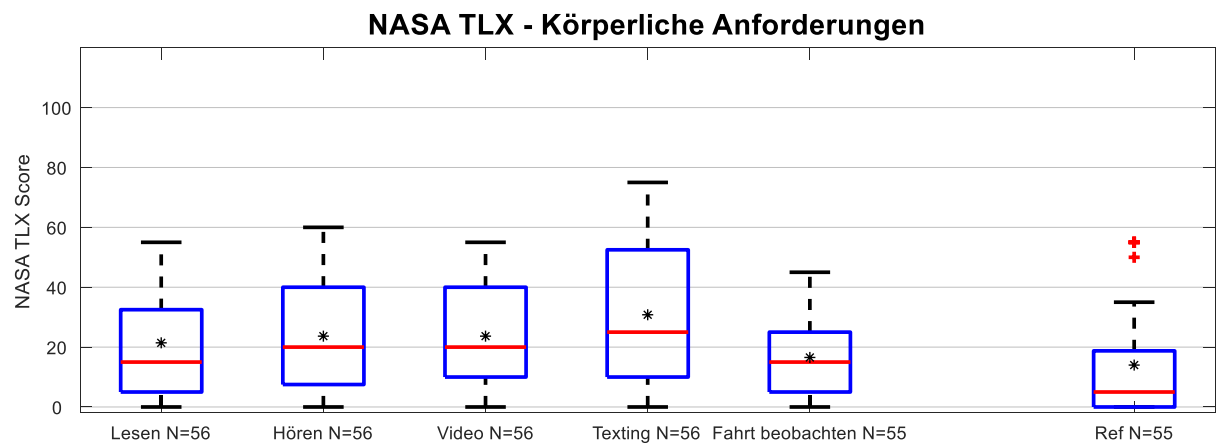


Abbildung A - 1: Boxplotdarstellung der Ergebnisse *NASA-TLX – Körperliche Anforderungen* in Abhängigkeit der untersuchten FFT in Punkten

Tabelle A - 1: Tabellarische Übersicht der Ergebnisse *NASA-TLX – Körperliche Anforderungen* in Punkten

FFT	MW	SD	Text lesen	Hörbuch hören	Video schauen	Texting	Fahrt beobachten
Text lesen	21,38	18,99		2,03	2,22	10,00 *	-4,53
Hörbuch hören	23,42	20,32	-2,03		0,18	7,96	-6,57
Video schauen	23,61	18,05	-2,22	-0,18		7,77	-6,75
Texting	31,38	25,81	-10,00 *	-7,96	-7,77		-14,53 *
Fahrt beobachten	16,85	14,86	4,53	6,57	6,75	14,53 *	
Referenz	14,25	17,86	7,12	9,16	9,35	17,13 *	2,59

* signifikanter Unterschied der Mittelwertdifferenz ($\alpha=0,05$; Bonferroni korrigiert)

NASA TLX - Zeitliche Anforderungen

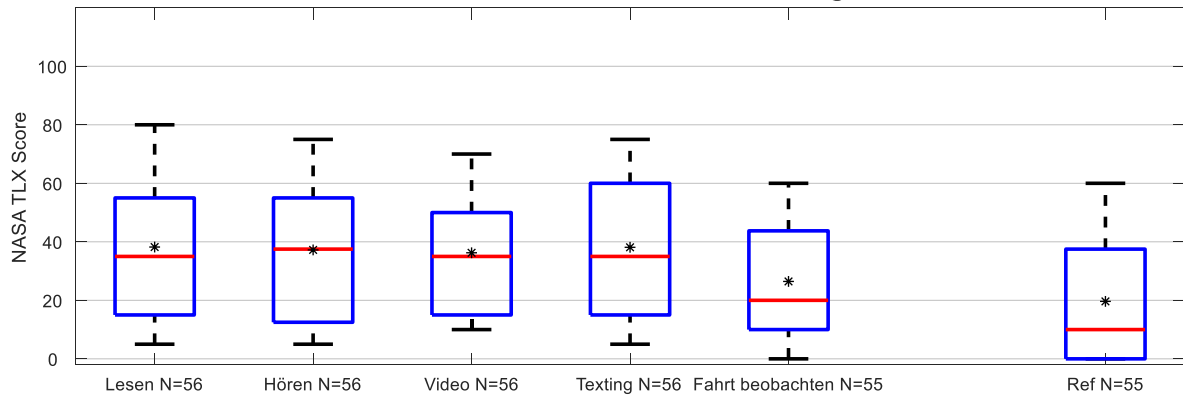


Abbildung A - 2: Boxplotdarstellung der Ergebnisse *NASA-TLX – Zeitliche Anforderungen* in Abhängigkeit der untersuchten FFT in Punkten

Tabelle A - 2: Tabellarische Übersicht der Ergebnisse *NASA-TLX – Zeitliche Anforderungen* in Punkten

FFT	MW	SD	Text lesen	Hörbuch hören	Video schauen	Texting	Fahrt beobachten
Text lesen	36,94	24,90		0,27	-0,27	1,01	-11,11 *
Hörbuch hören	37,22	24,83	-0,27		-0,55	0,74	-11,38 *
Video schauen	36,66	21,14	0,27	0,55		1,29	-10,83 *
Texting	37,96	24,86	-1,01	-0,74	-1,29		-12,13 *
Fahrt beobachten	25,83	20,43	11,11 *	11,38 *	10,83 *	12,13 *	
Referenz	20,00	21,99	16,94 *	17,22 *	16,66 *	17,96 *	5,83

* signifikanter Unterschied der Mittelwertdifferenz ($\alpha=0,05$; Bonferroni korrigiert)

NASA TLX - Leistung

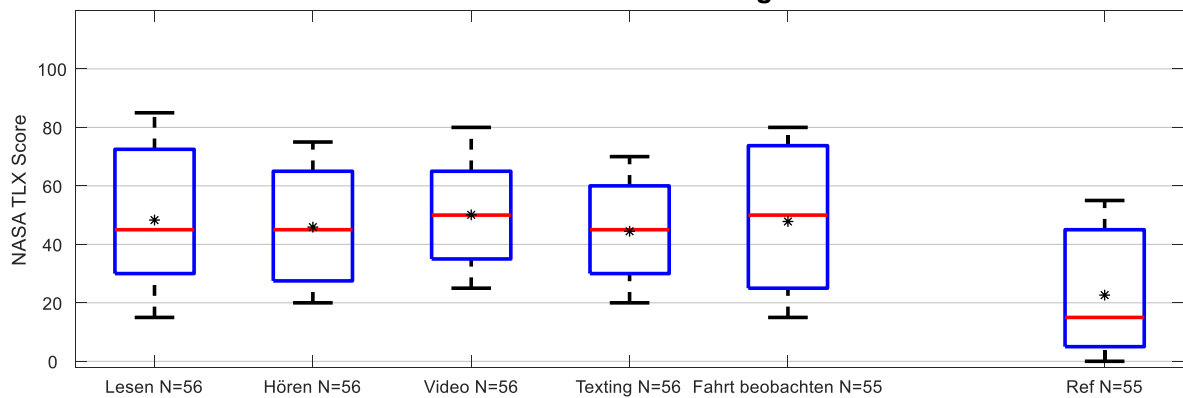


Abbildung A - 3: Boxplotdarstellung der Ergebnisse *NASA-TLX – Leistung* in Abhängigkeit der untersuchten FFT in Punkten

Tabelle A - 3: Tabellarische Übersicht der Ergebnisse *NASA-TLX – Leistung* in Punkten

FFT	MW	SD	Text lesen	Hörbuch hören	Video schauen	Texting	Fahrt beobachten
Text lesen	47,96	23,94		-2,40	2,03	-3,61	-0,64
Hörbuch hören	45,55	19,09	2,40		4,44	-1,20	1,75
Video schauen	50,00	18,06	-2,03	-4,44		-5,64	-2,68
Texting	44,35	17,59	3,61	1,20	5,64		2,96
Fahrt beobachten	47,31	23,98	0,64	-1,75	2,68	-2,96	
Referenz	22,96	21,42	25,00 *	22,59 *	27,03 *	21,38 *	24,35 *

* signifikanter Unterschied der Mittelwertdifferenz ($\alpha=0,05$; Bonferroni korrigiert)

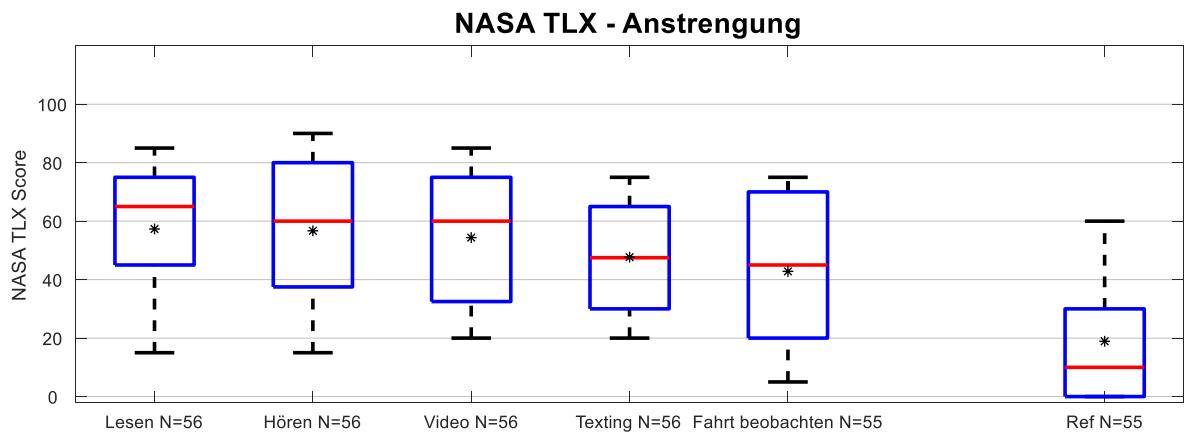


Abbildung A - 4: Boxplotdarstellung der Ergebnisse *NASA-TLX - Anstrengung* in Abhängigkeit der untersuchten FFT in Punkten

Tabelle A - 4: Tabellarische Übersicht der Ergebnisse *NASA-TLX - Anstrengung* in Punkten

FFT	MW	SD	Text lesen	Hörbuch hören	Video schauen	Texting	Fahrt beobachten
Text lesen	57,59	23,26		-0,74	-3,14	-9,44	-14,72 *
Hörbuch hören	56,85	25,10	0,74		-2,40	-8,70	-13,98 *
Video schauen	54,44	22,79	3,14	2,40		-6,29	-11,57 *
Texting	48,14	20,12	9,44	8,70	6,29		-5,27
Fahrt beobachten	42,87	25,96	14,72 *	13,98 *	11,57 *	5,27	
Referenz	19,16	21,53	38,42 *	37,68 *	35,27 *	28,98 *	23,70 *

* signifikanter Unterschied der Mittelwertdifferenz ($\alpha=0,05$; Bonferroni korrigiert)

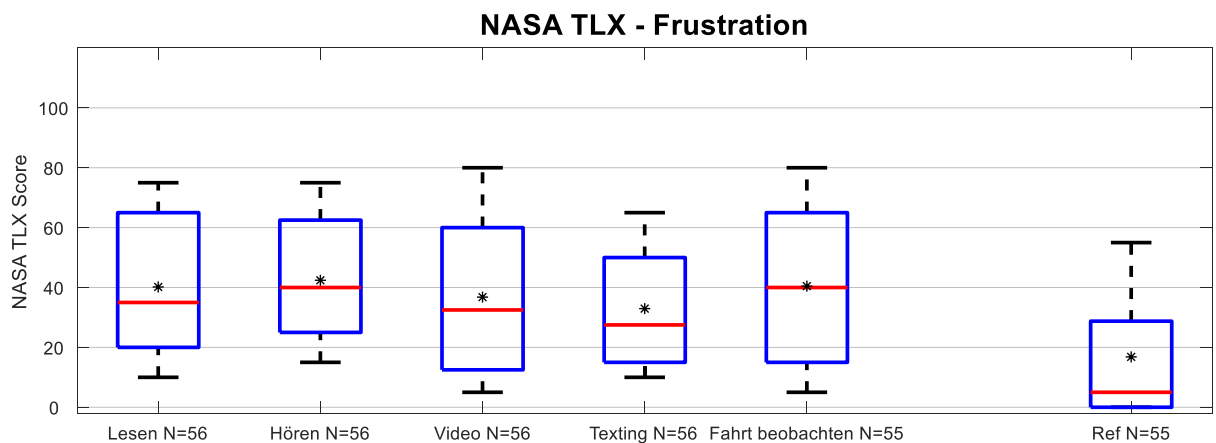


Abbildung A - 5: Boxplotdarstellung der Ergebnisse *NASA-TLX - Frustration* in Abhängigkeit der untersuchten FFT in Punkten

Tabelle A - 5: Tabellarische Übersicht der Ergebnisse *NASA-TLX - Frustration* in Punkten

FFT	MW	SD	Text lesen	Hörbuch hören	Video schauen	Texting	Fahrt beobachten
Text lesen	39,90	24,05		1,66	-3,24	-7,40	0,00
Hörbuch hören	41,57	21,07	-1,66		-4,90	-9,07	-1,66
Video schauen	36,66	26,74	3,24	4,90		-4,16	3,24
Texting	32,5	19,78	7,40	9,07	4,16		7,40
Fahrt beobachten	39,90	26,80	0,00	1,66	-3,24	-7,40	
Referenz	17,12	20,82	22,77 *	24,44 *	19,53 *	15,37 *	22,77 *

* signifikanter Unterschied der Mittelwertdifferenz ($\alpha=0,05$; Bonferroni korrigiert)

Reiz-Reaktionszeittest

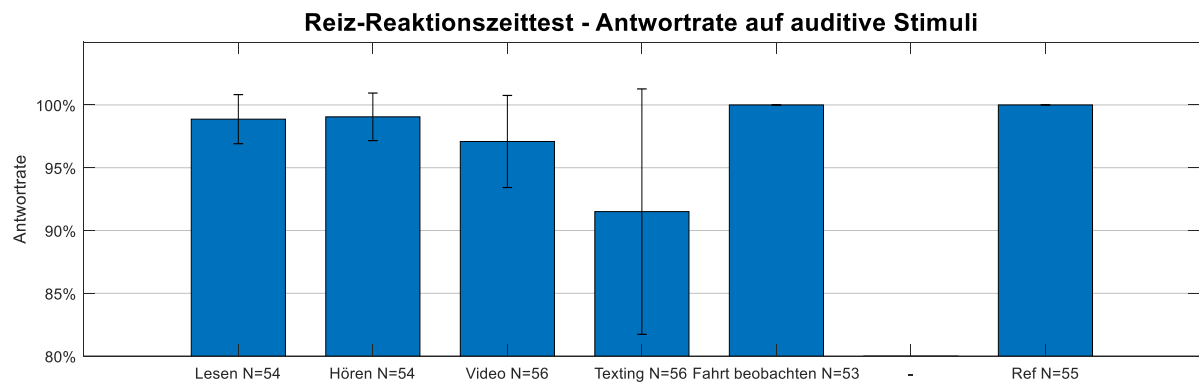


Abbildung A - 6: Balkendarstellung der Ergebnisse *Antwortrate* beim auditiven Reiz-Reaktionszeittest in Abhängigkeit der untersuchten FFT in %

Tabelle A - 6: Tabellarische Übersicht der Ergebnisse *Antwortrate* beim auditiven Reiz-Reaktionszeittest in %

FFT	MW	SD	Lesen	Hören	Video	Texting	Fahrt beobachten
Lesen	98,92	1,94		0,05	-1,99 *	-7,06 *	1,07 *
Hören	98,97	1,95	-0,05		-2,04 *	-7,11 *	1,02 *
Video	96,93	3,64	1,99 *	2,04 *		-5,07 *	3,06 *
Texting	91,85	9,60	7,06 *	7,11 *	5,07 *		8,14 *
Fahrt beobachten	100,00	0,00	-1,07 *	-1,02 *	-3,06 *	-8,14 *	
Referenz	100,00	0,00	-1,07 *	-1,02 *	-3,06 *	-8,14 *	0,00 *

* signifikanter Unterschied der Mittelwertdifferenz ($\alpha=0,05$; Bonferroni korrigiert)

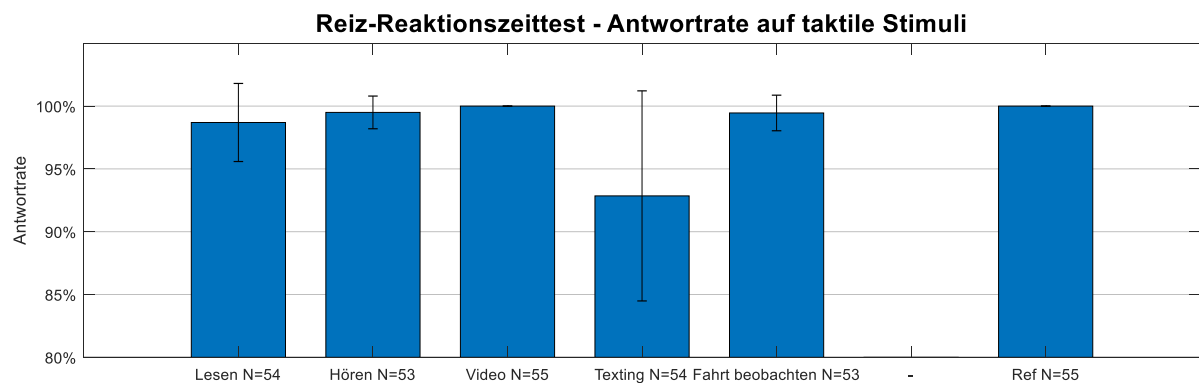


Abbildung A - 7: Balkendarstellung der Ergebnisse *Antwortrate* beim taktilen Reiz-Reaktionszeittest in Abhängigkeit der untersuchten FFT in %

Tabelle A - 7: Tabellarische Übersicht der Ergebnisse *Antwortrate* beim taktilen Reiz-Reaktionszeittest in %

FFT	MW	SD	Lesen	Hören	Video	Texting	Fahrt beobachten
Lesen	98,62	3,24		0,82	1,37	-5,03 *	0,77
Hören	99,44	1,35	-0,82		0,55	-5,85 *	-0,04
Video	100,00	0,00	-1,37	-0,55		-6,41 *	-0,60
Texting	93,58	8,16	5,03 *	5,85 *	6,41 *		5,80 *
Fahrt beobachten	99,39	1,47	-0,77	0,04	0,60	-5,80 *	
Referenz	100,00	0,00	-1,37	-0,55	0,00	-6,41 *	-0,60

* signifikanter Unterschied der Mittelwertdifferenz ($\alpha=0,05$; Bonferroni korrigiert)

Reiz-Reaktionszeittest - Reaktionszeiten auf auditive Stimuli

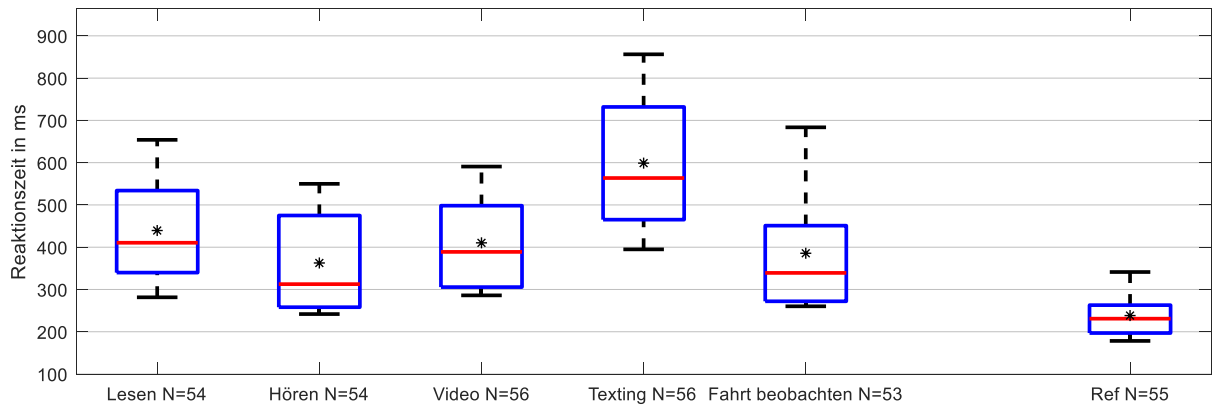


Abbildung A - 8: Boxplotdarstellung der Ergebnisse *Reaktionszeit* beim auditiven Reiz-Reaktionszeittest in Abhängigkeit der untersuchten FFT in ms

Tabelle A - 8: Tabellarische Übersicht der Ergebnisse *Reaktionszeit* beim auditiven Reiz-Reaktionszeittest in ms

FFT	MW	SD	Lesen	Hören	Video	Texting	Fahrt beobachten
Lesen	437,33	126,52		-67,97 *	-27,40	163,27 *	-54,65 *
Hören	369,35	117,98	67,97 *		40,56	231,25 *	13,32
Video	409,92	108,90	27,40	-40,56		190,68 *	-27,24
Texting	600,61	148,37	-163,27 *	-231,25 *	-190,68 *		-217,93 *
Fahrt beobachten	382,67	138,65	54,65 *	-13,32	27,24	217,93 *	
Referenz	239,39	53,51	197,93 *	129,95 *	170,52 *	361,21 *	143,28 *

* signifikanter Unterschied der Mittelwertdifferenz ($\alpha=0,05$; Bonferroni korrigiert)

Reiz-Reaktionszeittest - Reaktionszeiten auf takile Stimuli

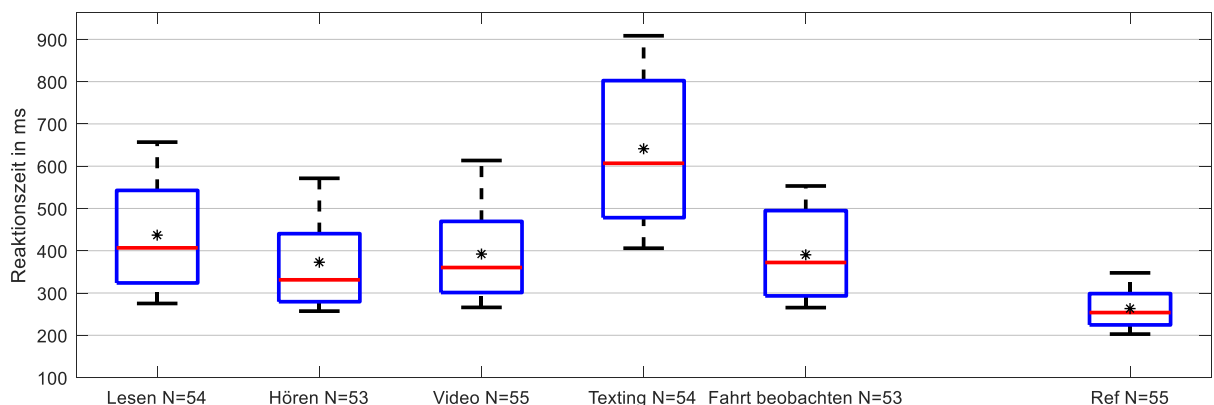


Abbildung A - 9: Boxplotdarstellung der Ergebnisse *Reaktionszeit* beim taktilen Reiz-Reaktionszeittest in Abhängigkeit der untersuchten FFT in ms

Tabelle A - 9: Tabellarische Übersicht der Ergebnisse *Reaktionszeit* beim taktilen Reiz-Reaktionszeittest in ms

FFT	MW	SD	Lesen	Hören	Video	Texting	Fahrt beobachten
Lesen	440,57	133,83		-62,69 *	-52,64 *	205,66 *	-52,62 *
Hören	377,87	113,75	62,69 *		10,04	268,36 *	10,07
Video	387,92	112,03	52,64 *	-10,04		258,31 *	0,02
Texting	646,24	170,53	-205,66 *	-268,36 *	-258,31 *		-258,29 *
Fahrt beobachten	387,95	105,39	52,62 *	-10,07	-0,02	258,29 *	
Referenz	261,46	49,67	179,10 *	116,41 *	126,45 *	384,77 *	126,48 *

* signifikanter Unterschied der Mittelwertdifferenz ($\alpha=0,05$; Bonferroni korrigiert)

Zusammenfassung: Subjektive Beanspruchungsdaten

Tabelle A - 10: Tabellarische Übersicht der Ergebnisse *NASA-TLX* in Punkten

FFT	Gesamt-Score		Geistige Anforderung		Körperliche Anforderung		Zeitliche Anforderung		Leistung		Anstrengung		Frustration	
	MW	SD	MW	SD	SD	MW	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
Text lesen	52,47	17,68	63,70	22,30	21,38	18,99	36,94	24,90	47,96	23,94	57,59	23,26	39,90	24,05
Hörbuch hören	50,79	19,58	58,88	26,55	23,42	20,32	37,22	24,83	45,55	19,09	56,85	25,10	41,57	21,07
Video schauen	48,64	17,85	56,20	26,52	23,61	18,05	36,66	21,14	50,00	18,06	54,44	22,79	36,66	26,74
Texting	45,72	13,88	47,68	22,37	31,38	25,81	37,96	24,86	44,35	17,59	48,14	20,12	32,5	19,78
Fahrt beobachten	42,24	20,31	43,61	28,44	16,85	14,86	25,83	20,43	47,31	23,98	42,87	25,96	39,90	26,80
Referenzmessung	23,24	19,11	28,88	23,56	14,25	17,86	20,00	21,99	22,96	21,42	19,16	21,53	17,12	20,82

Zusammenfassung: Psychophysiologische Beanspruchungsdaten

Tabelle A - 11: Tabellarische Übersicht der psychophysiologischen Beanspruchungsdaten

FFT	Lidschluss-rate bpm		meanRR bpm		rMSSD ms		SCL μ S	
	MW	SD	MW	SD	SD	MW	MW	SD
Text lesen	9,27	3,47	72,17	8,86	39,11	19,49	0,42	0,22
Hörbuch hören	21,59	6,90	72,99	8,88	39,10	18,29	0,38	0,22
Video schauen	21,33	7,30	72,47	9,01	39,92	21,62	0,35	0,23
Texting	8,64	4,49	75,90	11,04	33,64	16,14	0,49	0,25
Fahrt beobachten	16,75	5,13	72,26	8,72	39,20	17,06	0,38	0,22
Referenzmessung	18,33	7,27	70,92	8,19	46,25	22,87	0,27	0,23

Zusammenfassung: Leistungsbasierte Beanspruchungsdaten

Tabelle A - 12: Tabellarische Übersicht der Ergebnisse *Reiz-Reaktionszeittest*

FFT	Antwortrate visuell %		Antwortrate auditiv %		Antwortrate taktil %		Reaktionszeit visuell ms		Reaktionszeit auditiv ms		Reaktionszeit taktil ms	
	MW	SD	MW	SD	SD	MW	MW	SD	MW	SD	MW	SD
Text lesen	97,26	3,74	98,92	1,94	98,62	3,24	455,39	113,20	437,33	126,52	440,57	133,83
Hörbuch hören	100,00	0,00	98,97	1,95	99,44	1,35	346,92	79,24	369,35	117,98	377,87	113,75
Video schauen	99,57	1,30	96,93	3,64	100,00	0,00	361,59	74,27	409,92	108,90	387,92	112,03
Texting	94,15	5,97	91,85	9,60	93,58	8,16	536,73	104,80	600,61	148,37	646,24	170,53
Fahrt beobachten	98,97	1,88	100,00	0,00	99,39	1,47	336,34	61,90	382,67	138,65	387,95	105,39
Referenzmessung	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	267,74	46,05	239,39	53,51	261,46	49,67

Situationsbewusstsein (SA)

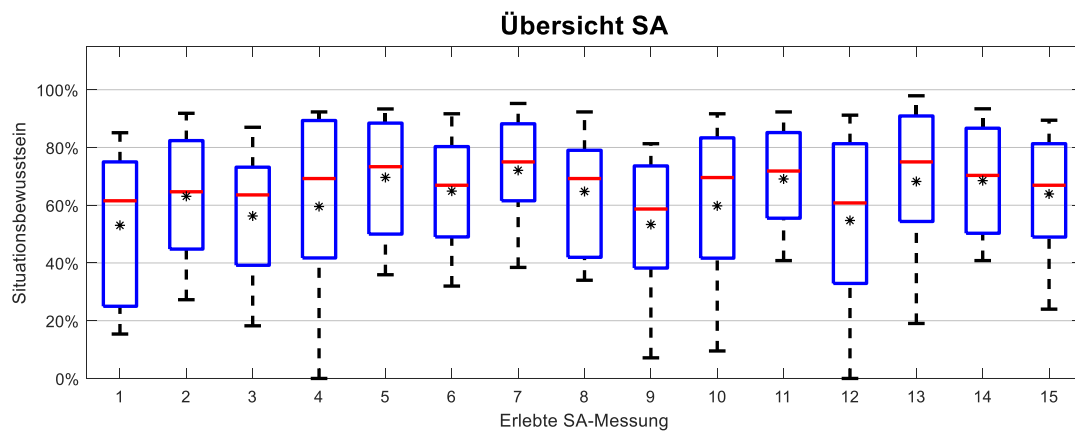


Abbildung A - 10: Boxplotdarstellung der Situationsbewusstseinergebnisse in Abhängigkeit der untersuchten Situationsbewusstseinsmessungen in %

Tabelle A - 13: Tabellarische Übersicht Situationsbewusstseinergebnisse in Abhängigkeit der untersuchten Situationsbewusstseinsmessungen in %

	MW	SD
1. SA-Messung	53,03	24,93
2. SA-Messung	63,08	22,05
3. SA-Messung	56,27	22,62
4. SA-Messung	59,55	32,97
5. SA-Messung	69,61	20,72
6. SA-Messung	64,89	19,68
7. SA-Messung	72,08	18,04
8. SA-Messung	64,75	21,03
9. SA-Messung	53,33	24,51
10. SA-Messung	59,78	27,05
11. SA-Messung	69,09	17,62
12. SA-Messung	54,71	31,05
13. SA-Messung	68,22	24,92
14. SA-Messung	68,51	19,37
15. SA-Messung	63,90	21,80

Tabelle A - 14: Tabellarische Übersicht Situationsbewusstseinergebnisse in Abhängigkeit der FFT und Vorwarnzeiten in %

	SA	MW	SD
Ohne Vorwarnzeit	Text lesen	38,72	22,19
	Hörbuch hören	64,03	14,79
	Video schauen	33,33	27,69
	Texting	29,02	29,42
	Fahrt beobachten	74,37	16,70
Kurze Vorwarnzeit	Text lesen	55,58	27,88
	Hörbuch hören	75,60	12,79
	Video schauen	65,95	17,17
	Texting	74,76	14,13
	Fahrt beobachten	71,30	19,79
Lange Vorwarnzeit	Text lesen	55,92	14,67
	Hörbuch hören	76,48	19,46
	Video schauen	69,39	17,59
	Texting	78,82	12,65
	Fahrt beobachten	78,23	12,67

Rückübernahmefähigkeit

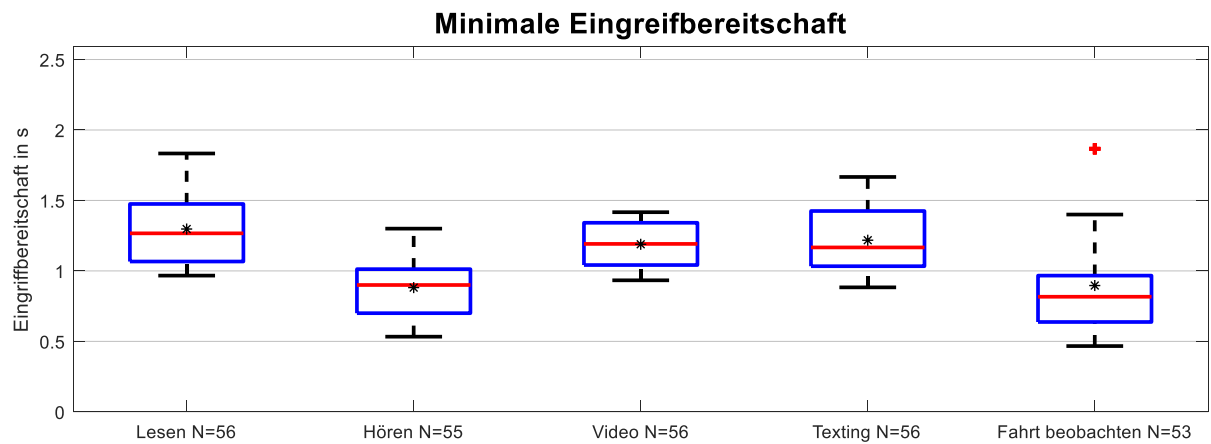


Abbildung A - 11: Boxplotdarstellung der Ergebnisse *minimale Eingreifbereitschaft* nach RÜA in Abhängigkeit der untersuchten FFT in s

Tabelle A - 15: Tabellarische Übersicht der Ergebnisse *minimale Eingreifbereitschaft* nach RÜA in s

FFT	MW	SD	Lesen	Hören	Video	Texting
Lesen	1,30	0,29		-0,41 *	-0,11 *	-0,07
Hören	0,89	0,23	0,41 *		0,29 *	0,33 *
Video	1,18	0,16	0,11 *	-0,29 *		0,03
Texting	1,22	0,25	0,07	-0,33 *	-0,03	
Fahrt beobachten	0,89	0,41	0,40 *	0,00	0,28 *	0,32 *

* signifikanter Unterschied der Mittelwertdifferenz ($\alpha=0,05$; Bonferroni korrigiert)

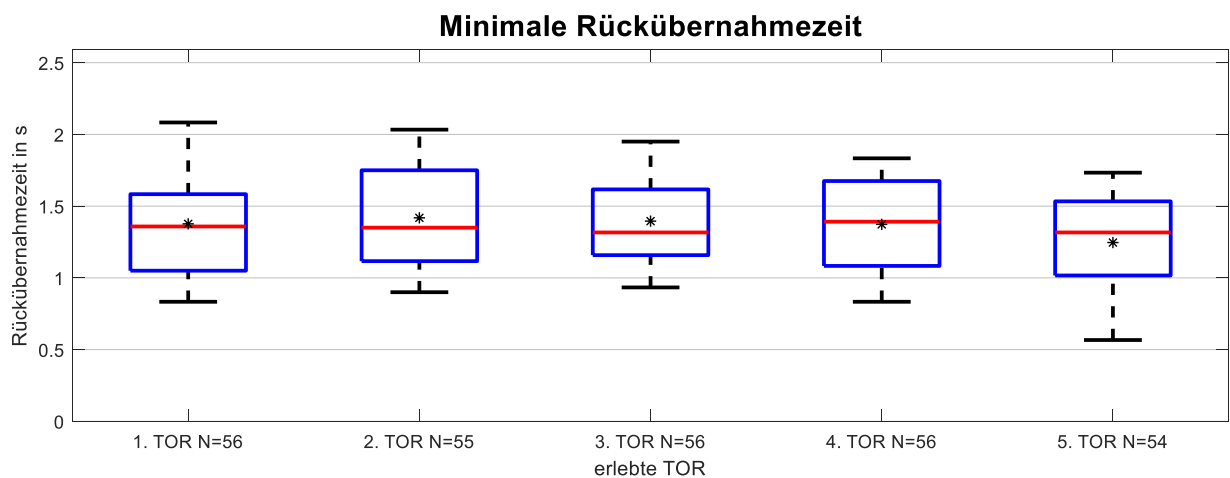


Abbildung A - 12: Boxplotdarstellung der Ergebnisse *minimale Eingreifbereitschaft* nach RÜA in Abhängigkeit der untersuchten Rückübernahmeaufforderungen in s

Tabelle A - 16: Tabellarische Übersicht der Ergebnisse *minimale Eingreifbereitschaft* nach RÜA in s

TOR	MW	SD	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung
1. Messung	1,39	0,39		0,02	0,01	-0,02
2. Messung	1,41	0,36	-0,02		-0,01	-0,05
3. Messung	1,40	0,32	-0,01	0,01		-0,04
4. Messung	1,36	0,33	0,02	0,05	0,04	
5. Messung	1,23	0,37	0,15	0,18	0,17	0,13

* signifikanter Unterschied der Mittelwertdifferenz ($\alpha=0,05$; Bonferroni korrigiert)

Zusammenfassung: Rückübernahmefähigkeit

Tabelle A - 17: Tabellarische Übersicht der Ergebnisse Rückübernahmefähigkeit

FFT	Erster Blick auf die Straßens		Eingriffsbereitschafts		Rückübernahme s		TTCs		TOC Punkte	
	MW	SD	MW	SD	SD	MW	MW	SD	MW	SD
Text lesen	790,14	318,93	1,30	0,29	1,64	0,31	4,22	0,42	4,50	0,50
Hörbuch hören	60,73	115,37	0,89	0,23	1,10	0,25	4,33	0,34	4,60	0,68
Video schauen	495,00	398,60	1,18	0,16	1,48	0,24	4,48	0,36	4,73	0,76
Texting	758,79	368,28	1,22	0,25	1,49	0,28	4,60	0,40	4,56	0,72
Fahrt beobachten	0,00	0,00	0,89	0,41	1,11	0,38	4,69	0,58	4,49	0,69